



DISERTASI - RC 143505

**MODEL LABORATORIUM UNTUK MENENTUKAN
ZONA EFEKTIF PADA TANAH GAMBUT
BERSERAT YANG DISTABILISASI DENGAN
CAMPURAN KAPUR DAN ABU TERBANG**

Oleh :
Faisal Estu Yulianto
NRP. 3111301002

Promotor :
Prof. Ir. Noor Endah Mochtar, M.Sc., Ph.D.
Prof. Drs. Basuki Widodo, M.,Sc., Ph.D.

**PROGRAM DOKTOR
BIDANG KEAHLIAN GEOTEKNIK
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016**



DISSERTATION - RC 143505

LABORATORY MODEL TO DETERMINE EFFECTIVE ZONE TO FIBROUS PEAT SOIL STABILIZED WITH MIXING LIME AND FLY ASH

By :
Faisal Estu Yulianto
NRP. 3111301002

Supervisor :
Prof. Ir. Noor Endah Mochtar, M.Sc., Ph.D.
Prof. Drs. Basuki Widodo, M.,Sc., Ph.D.

DOCTORATE PROGRAM
GEOTECHNICAL ENGINEERING
CIVIL ENGINEERING DEPARTEMENT
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND PLANING
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2016

**Disertasi disusun untuk memenuhi salah satu syarat
Memperoleh gelar
Doktor (Dr.)**

**Di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh :
Faisal Estu Yulianto
Nrp. 3111301002**

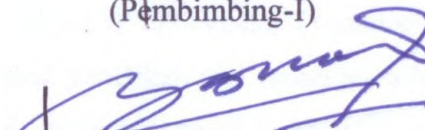
**Tanggal Ujian : 17 Maret 2016
Periode Wisuda : September 2016**

Disetujui oleh :

1. Prof. Ir. Noor Endah Mochtar, M.Sc., Ph.D
NIP. 195107081976032001


(Pembimbing-I)

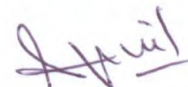
2. Prof. Drs. Basuki Widodo, M.Sc., Ph.D.
NIP. 196506051989031002


(Pembimbing-II)

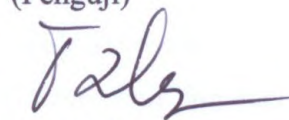
3. Prof. Dr. Ir. Indarto, DEA.
NIP. 195010111982031002


(Penguji)

4. Prof. Dr. Erna Apriliani, M.Si.
NIP. 19660414 1991022001


(Penguji)

5. Prof. Dr. Ir. Tommy Ilyas, M.Eng
NIP. 195105051978021001


(Penguji)



Direktur Program Pascasarjana,


Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc, Ph.D.
NIP. 196012021987011001.

MODEL LABORATORIUM UNTUK MENENTUKAN ZONA EFEKTIF PADA TANAH GAMBUT BERSERAT YANG DISTABILISASI DENGAN CAMPURAN KAPUR DAN ABU TERBANG

Nama mahasiswa : Faisal Estu Yulianto
NRP : 3111301002
Promotor : Prof. Ir. Noor Endah Mochtar, M.Sc., Ph.D.
Co-Promotor : Prof. Drs. Basuki Widodo, M.Sc., Ph.D.

ABSTRAK

Tanah gambut merupakan tanah organik dengan daya dukung rendah dan pemampatannya yang besar. Oleh sebab itu, perbaikan tanah perlu dilakukan agar tanah gambut mampu mendukung beban yang bekerja di atasnya. Beberapa metode perbaikan tanah telah banyak diterapkan pada tanah gambut namun metode perbaikan tersebut (pre loading, pengelupasan tanah, ceruk kayu dan corduroy) memungkinkan terjadinya kerusakan lingkungan akibat kebutuhan material alam yang sangat besar dan mempunyai biaya konstruksi yang lebih mahal sehingga metode stabilisasi tanah terus dikembangkan. Hanya saja, pengembangan metode stabilisasi yang selama ini dilakukan selalu mengabaikan pengaruh filtrasi air dari sekitar zona yang distabilisasi. Untuk itu sangat diperlukan penelitian lanjutan guna mempelajari bagaimana pengaruh filtrasi air dari sekitar terhadap perilaku tanah gambut yang telah distabilisasi dan berapa lebar tanah gambut berserat yang harus distabilisasi agar pengaruh filtrasi air dari sekitar di area yang akan dibangun konstruksi di atasnya paling minimum (selanjutnya disebut sebagai zona efektif).

Penelitian ini dilaksanakan dalam dua tahap yaitu, tahap pertama merupakan pemodelan fisik laboratorium dengan mengimitasi kondisi riil di lapangan dengan skala pemodelan 1:1000 dengan tebal lapisan yang distabilisasi keseluruhan. Tanah gambut berserat Palangkaraya distabilisasi dengan 10% dan 15% admixture yang merupakan campuran dari 30% kapur dan 70% abu terbang. Gambut yang distabilisasi kemudian diletakkan di tengah gambut asli (gambut yang tidak distabilisasi) yang kadar airnya dijaga konstan dengan tujuan membiarkan air dari tanah gambut asli untuk mengalir masuk ke dalam zona gambut yang distabilisasi. Kondisi tersebut dibiarkan selama 30, 60, 90, 120, 150 dan 180 hari dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh usia stabilisasi dan aliran air dari gambut asli disekitar terhadap sifat fisik dan teknik gambut yang distabilisasi. Tahap kedua adalah prediksi numerik dengan pemodelan matematika dan interpolasi Lagrange dengan menggunakan data pada penelitian tahap satu untuk menentukan lebar area stabilisasi optimum. Pemodelan matematika dilakukan berdasarkan perilaku pertumbuhan kristal akibat pengaruh aliran air dalam media berpori. Output numerik yang dihasilkan berupa parameter tanah gambut yang distabilisasi yang dipengaruhi oleh usia stabilisasi dan lebar area stabilisasi yang dilakukan sedangkan interpolasi Lagrange digunakan untuk mengetahui pengaruh lebar area stabilisasi berdasarkan seluruh data pemodelan fisik pada penelitian tahap satu.

Hasil uji pemodelan fisik laboratorium menunjukkan tanah gambut yang distabilisasi dengan 15% admixture menunjukkan perubahan parameter fisik dan teknis yang paling baik karena filtrasi air sudah minimum. Selain itu, jumlah admixture yang ditambahkan dan usia stabilisasi sangat berpengaruh pada perubahan parameter tanah gambut yang distabilisasi. Hasil validasi dengan komputasi numerik tren perilaku yang sama dengan perilaku data hasil uji laboratorium. Berdasarkan pemodelan dan prediksi numerik yang dilakukan diketahui bahwa zona efektif stabilisasi tanah gambut adalah 70 cm untuk seluruh tebal lapisan yang distabilisasi. Hal ini diketahui dari sifat fisik dan teknis pada lebar stabilisasi 70 cm merupakan nilai yang paling optimum diantara lebar stabilisasi lainnya.

Kata kunci: *Stabilisasi, gambut berserat, abu terbang, CaCO_3 , Numerik, Zona Efektif.*

LABORATORY MODEL TO DETERMINE EFFECTIVE ZONE TO FIBROUS PEAT SOIL STABILIZED WITH MIXING LIME AND FLY ASH

Student Name : Faisal Estu Yulianto
NRP : 3111301002
Supervisor : Prof. Ir. Noor Endah Mochtar, M.Sc., Ph.D.
Co-Supervisor : Prof. Drs. Basuki Widodo, M.Sc., Ph.D.

ABSTRACT

Peat soil is organic soils with low bearing capacity and high compressibility. Therefore, soil improvement must be done so that peat soils are capable to support the load. Several methods of soil improvement have been implemented on peat soil but improvement methods such as pre-loading, replacement method, mini wood pile and corduroy can cause environmental damage due to the material needs are very large and has a construction cost more expensive so the stabilization method developed continuously. However, the development of stabilization methods has been done always ignore the influence of the water infiltration around the zone stabilized. Therefore, it is necessary further research in order to learn how influence of water infiltration from surrounding area to the behavior of stabilized peat and how wide peat fiber that must be stabilized in order to influence water infiltration from the surrounding area are minimum (hereinafter referred to as the zone effective).

The research was conducted in two steps, the first step is a physical modeling of laboratory by imitating the real conditions in the field with scale 1:1000 and stabilized all of peat layer thickness. Palangkaraya fibrous peat stabilized with 10% and 15% admixture with composition 30% lime and 70% fly ash. Peat stabilized then placed between original peat and the water content kept constant with the aim of letting water flow from original peat soil into peat stabilized. The condition was left for 10, 30, 60, 90, 120, 150 and 180 days in order to determine the effect of curing periods and water flow from original peat around for physical and engineering stabilized peat. The second stage is the numerical prediction with mathematical modeling and Lagrange interpolation using the data at first stage to determine optimum of stabilization area. Mathematic modeling construct based on the behavior of the crystals growth under the influence of water flow in porous media. Numerical output produced are parameters of stabilized peat soil that are influenced by curing periods and wide-area stabilization conducted.

Physical modeling laboratory test results show that peat soil stabilized with 15% admixture indicates changes in the physical and engineering parameters of the best value because the water has a minimum effect. Amount of admixture and using periods have great effect for parameter of peat soil stabilized. Validation results with numerical computing trend similar behavior with the behavior of laboratory test result data. Based on numerical modeling and predictions made known that peat soil stabilization effective zone is 70 cm for full layer stabilized. It is known from the physical and technical characteristics on stabilization width 70 cm is the most optimum value of the width of stabilization among others.

Keywords: *Stabilization, Fibrous Peat, Fly Ash, CaCO₃, Numeric, Effective Zone.*

DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| Lembar Pengesahan | i |
| Kata Pengantar | ii |
| Abstrak | v |
| Daftar Isi | vii |
| Daftar Gambar | ix |
| Daftar Tabel | xiii |
| BAB I Pendahuluan | |
| 1.1. Latar Belakang | 1 |
| 1.2. Perumusan Masalah | 5 |
| 1.3. Tujuan Penelitian | 6 |
| 1.4. Lingkup Penelitian | 7 |
| 1.5. Manfaat Penelitian | 7 |
| 1.6. Keaslian Penelitian (<i>State of The Art</i>) | 8 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | |
| 2.1. Tanah Gambut | 13 |
| 2.1.1. Asal Usul Terbentuknya Tanah Gambut | 13 |
| 2.1.2. Tanah Gambut di Indonesia | 15 |
| 2.2. Jenis Tanah Gambut dan Sistem Klasifikasinya | 17 |
| 2.3. Sifat Fisik dan Teknis Tanah Gambut | 20 |
| 2.3.1. Sifat Fisik Tanah Gambut | 20 |
| 2.3.2. Sifat Teknis Tanah Gambut | 25 |
| 2.4. Metode Perbaikan Tanah | 29 |
| 2.4.1. Metode Stabilisasi | 30 |
| 2.4.2. Metode Mekanis | 42 |
| 2.4.3. Metode Fisik | 46 |
| 2.5. Proses Kristalisasi | 46 |
| 2.6. Pemodelan Numerik | 48 |
| 2.6.1. Metode Beda Hingga | 48 |
| 2.6.2. Metode Interpolasi Lagrange | 52 |

| | |
|---|-----|
| 2.7. Kerangka Kerja Konseptual | 53 |
| BAB III METODE PENELITIAN | |
| 3.1. Penelitian Tahap Satu | 57 |
| 3.2. Penelitian Tahap Dua | 64 |
| 3.2.1. Metode Beda Hingga | 65 |
| 3.2.2. Metode Interpolasi Lagrange | 65 |
| BAB IV PERUBAHAN PERILAKU TANAH GAMBUT YANG DISTABILISASI DAN PEMODELAN NUMERIKNYA | |
| 4.1. Tanah Gambut Initial | 69 |
| 4.2. Pembentukan Gel CaSiO_3 . | 72 |
| 4.3. Pengaruh Jarak terhadap Perilaku Tanah Gambut yang Distabilisasi | 78 |
| 4.4. Pengaruh Usia Stabilisasi pada Perilaku Tanah Gambut yang Distabilisasi Di Beberapa Titik Pengujian | 94 |
| 4.5. Pemodelan Numerik | 111 |
| 4.5.1. Metode Beda Hingga | 111 |
| 4.5.2. Metode Interpolasi Lagrange | 115 |
| 4.5.3. Validasi Data | 117 |
| 4.5.4. Penentuan Zona Efektif Stabilisasi | 120 |
| BAB V KESIMPULAN | |
| 5.1. Kesimpulan | 125 |
| DAFTAR PUSTAKA | 129 |
| LAMPIRAN | |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|-------------|---|----|
| Gambar 2.1 | Proses pembentukan lahan gambut di daerah tropis | 14 |
| Gambar 2.2 | Pembentukan lapisan gambut topogen dan gambut ombrogen | 14 |
| Gambar 2.3 | Peta lokasi tanah gambut Indonesia | 15 |
| Gambar 2.4 | Grafik pemampatan (e vs $\log t$) hasil uji konsolidasi metode Terzaghi dari tanah gambut berserat | 27 |
| Gambar 2.5 | Kurva hubungan Δh vs $\log t$ pada tanah gambut dengan beban 50 kPa | 28 |
| Gambar 2.6 | Foto SEM pembesaran 200 kali pada tanah gambut dengan dua kondisi | 37 |
| Gambar 2.7 | Sketsa dari “ <i>Calcium Silicate Hydrate</i> ” yang mengkristal dan membungkus gumpalan-gumpalan tanah | 38 |
| Gambar 2.8. | Foto SEM pembesaran 1000x pada tanah gambut stabilisasi dengan 5% stabilizer dan masa peram 10 hari | 39 |
| Gambar 2.9 | Metode pelaksanaan <i>Deep Soil Mixing</i> (DSM) dengan dua silo yang berbeda | 41 |
| Gambar 2.10 | Metode pelaksanaan <i>Dry Jet Mixing</i> (DJM) dengan dua silo yang berbeda | 41 |
| Gambar 2.11 | Kurva kekuatan beberapa jenis tanah yang distabilisasi dengan DSM | 42 |
| Gambar 2.12 | Penyebaran asap akibat kebakaran gambut | 44 |
| Gambar 2.13 | Metode cerucuk | 45 |
| Gambar 2.14 | Sketsa model di laboratorium | 48 |
| Gambar 2.15 | Hubungan antar variabel dalam penelitian (<i>Conseptual Frame Work</i>) | 55 |
| Gambar 3.1 | Diagram alir penelitian tahap satu | 58 |
| Gambar 3.2 | Kotak pemodelan fisik tanah gambut yang distabilisasi dengan <i>admixture</i> untuk dua jenis model fisik | 61 |
| Gambar 3.3 | Dua jenis pemodelan fisik gambut yang distabilisasi | 63 |

| | | |
|--------------|--|----|
| Gambar 3.4 | Tampak atas lokasi pengujian pada dua jenis pemodelan gambut yang distabilisasi. | 64 |
| Gambar 3.5 | Diagram alir penelitian tahap dua | 66 |
| Gambar 4.1 | Grafik Pemampatan gambut initial dengan beban 50 kPa | 72 |
| Gambar 4.2 | Foto SEM tanah gambut initial | 72 |
| Gambar 4.3 | Foto SEM tanah gambut yang distabilisasi pembesaran 2000x usia stabilisasi 30 hari. | 73 |
| Gambar 4.4 | Foto SEM tanah gambut yang distabilisasi pembesaran 2000x usia stabilisasi 120 hari. | 74 |
| Gambar 4.5 | Foto SEM tanah gambut yang distabilisasi pembesaran 2000x usia stabilisasi 180 hari. | 75 |
| Gambar 4.6 | Perilaku prosentase berat Silica (Wt_Si) pada tanah gambut yang distabilisasi hasil uji SEM EDX. | 76 |
| Gambar 4.7 | Perilaku prosentase berat Kapur (Wt_Ca) pada tanah gambut yang distabilisasi hasil uji SEM EDX | 77 |
| Gambar 4.8 | Perilaku prosentase berat Oksigen (Wt_O) pada tanah gambut yang distabilisasi hasil uji SEM EDX | 78 |
| Gambar 4.9 | Pengaruh jarak terhadap perilaku kadar air (wc) tanah gambut yang distabilisasi. | 80 |
| Gambar 4.10 | Pengaruh jarak terhadap perilaku berat volume (γ_t) tanah gambut yang distabilisasi. | 82 |
| Gambar 4.11 | Pengaruh jarak terhadap perilaku specific gravity (Gs) tanah gambut yang distabilisasi | 84 |
| Gambar 4.12 | Pengaruh jarak terhadap perilaku angka pori (e) tanah gambut yang distabilisasi. | 85 |
| Gambar 4.13 | Pengaruh jarak terhadap perilaku kadar organik (Oc) tanah gambut yang distabilisasi. | 88 |
| Gambar 4.14 | Pengaruh jarak terhadap perilaku kadar abu (Ac) tanah gambut yang distabilisasi. | 89 |
| Gambar 4.15. | Pengaruh jarak terhadap perilaku kuat geser (τ) tanah gambut yang distabilisasi. | 91 |

| | | |
|-------------|--|-----|
| Gambar 4.16 | Pengaruh jarak terhadap perilaku pemampatan (Δh) tanah gambut yang distabilisasi. | 93 |
| Gambar 4.17 | Perilaku kadar air (w_c) tanah gambut yang distabilisasi di beberapa titik pengujian. | 96 |
| Gambar 4.18 | Perilaku berat volume tanah (γ_t) tanah gambut yang distabilisasi di beberapa titik pengujian. | 99 |
| Gambar 4.19 | Perilaku specific gravity (G_s) tanah gambut yang distabilisasi di beberapa titik pengujian | 100 |
| Gambar 4.20 | Perilaku angka pori (e) tanah gambut yang distabilisasi di beberapa titik pengujian. | 103 |
| Gambar 4.21 | Perilaku kandungan organik (O_c) dan kandungan abu (A_c) tanah gambut yang distabilisasi di beberapa titik pengujian. | 105 |
| Gambar 4.22 | Perilaku kuat geser (τ) tanah gambut yang distabilisasi di beberapa titik pengujian. | 106 |
| Gambar 4.23 | Perilaku pemampatan (Δh) tanah gambut yang distabilisasi di beberapa titik pengujian. | 109 |
| Gambar 4.24 | Foto admixture yang tidak tercampur dengan baik saat proses stabilisasi tanah gambut. | 110 |
| Gambar 4.25 | Pemodelan volume kendali pertumbuhan kristal pada proses stabilisasi gambut dengan Metode Beda Hingga. | 111 |
| Gambar 4.26 | <i>Output</i> komputasi numerik dengan Metode Beda Hingga untuk gambut dengan 15% admixture dengan variasi lebar area stabilisasi terhadap waktu | 114 |
| Gambar 4.27 | Pengaruh jarak area stabilisasi terhadap gambut initial untuk nilai γ_t tanah gambut yang distabilisasi pada $t=8000$ (240 hari) | 115 |
| Gambar 4.28 | <i>Ouput</i> komputasi numeric metode Interpolasi Lagrange untuk parameter tanah gambut yang distabilisasi dengan 15% admixture dan lebar area stabilisasi yang berbeda beda | 116 |
| Gambar 4.29 | Kurva validasi data laboratoirum dengan prediksi numerik Metode Beda Hingga dan Interpolasi Lagrange | 117 |

| | | |
|-------------|--|-----|
| Gambar 4.30 | Validasi hasil data laboratorium dan interpolasi Lagrange untuk 15% admixture untuk sifat teknis tanah gambut yang distabilisasi | 119 |
| Gambar 4.31 | Validasi hasil data laboratorium dan interpolasi Lagrange untuk 15% admixture untuk sifat fisik tanah gambut yang distabilisasi | 120 |
| Gambar 4.32 | Output Interpolasi Lagrange untuk gambut dengan 15% admixture dengan variasi jarak dari tepi gambut initial | 122 |
| Gambar 4.33 | <i>Output</i> Interpolasi Lagrange untuk gambut dengan 15% admixture dengan variasi jarak dari tepi gambut initial | 123 |

DAFTAR TABEL

| | | |
|------------|--|----|
| Tabel 1.1 | Kegiatan Penelitian Stabilisasi Tanah Gambut yang Telah dilakukan | 9 |
| Tabel 2.1a | Penyebaran Tanah Gambut di Pulau Sumatera | 16 |
| Tabel 2.1b | Penyebaran Tanah Gambut di Pulau Kalimantan | 16 |
| Tabel 2.1c | Penyebaran Tanah Gambut di Pulau Papua | 17 |
| Tabel 2.2 | Klasifikasi ASTM D4427-92 | 17 |
| Tabel 2.3 | Sistem Klasifikasi Von Post | 18 |
| Tabel 2.4 | Klasifikasi Tanah Gambut Menurut Tebal Lapisan Gambut | 20 |
| Tabel 2.5 | Ukuran Butiran Maksimum Untuk Kapur Jenis A, B, dan C | 31 |
| Tabel 2.6a | Persyaratan Kimia Kapur Tipe I | 32 |
| Tabel 2.6b | Persyaratan Kimia Kapur Tipe II | 32 |
| Tabel 2.7 | Parameter Tanah Gambut yang Distabilisasi 10% Admixture | 39 |
| Tabel 4.1 | Sifat Fisik Gambut Tidak Terganggu | 70 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|-------------|---|----|
| Gambar 2.1 | Proses pembentukan lahan gambut di daerah tropis | 14 |
| Gambar 2.2 | Pembentukan lapisan gambut topogen dan gambut ombrogen | 14 |
| Gambar 2.3 | Peta lokasi tanah gambut Indonesia | 15 |
| Gambar 2.4 | Grafik pemampatan (e vs $\log t$) hasil uji konsolidasi metode Terzaghi dari tanah gambut berserat | 27 |
| Gambar 2.5 | Kurva hubungan Δh vs $\log t$ pada tanah gambut dengan beban 50 kPa | 28 |
| Gambar 2.6 | Foto SEM pembesaran 200 kali pada tanah gambut dengan dua kondisi | 37 |
| Gambar 2.7 | Sketsa dari “ <i>Calcium Silicate Hydrate</i> ” yang mengkristal dan membungkus gumpalan-gumpalan tanah | 38 |
| Gambar 2.8. | Foto SEM pembesaran 1000x pada tanah gambut stabilisasi dengan 5% stabilizer dan masa peram 10 hari | 39 |
| Gambar 2.9 | Metode pelaksanaan <i>Deep Soil Mixing</i> (DSM) dengan dua silo yang berbeda | 41 |
| Gambar 2.10 | Metode pelaksanaan <i>Dry Jet Mixing</i> (DJM) dengan dua silo yang berbeda | 41 |
| Gambar 2.11 | Kurva kekuatan beberapa jenis tanah yang distabilisasi dengan DSM | 42 |
| Gambar 2.12 | Penyebaran asap akibat kebakaran gambut | 44 |
| Gambar 2.13 | Metode cerucuk | 45 |
| Gambar 2.14 | Sketsa model di laboratorium | 48 |
| Gambar 2.15 | Hubungan antar variabel dalam penelitian (<i>Conseptual Frame Work</i>) | 55 |
| Gambar 3.1 | Diagram alir penelitian tahap satu | 58 |
| Gambar 3.2 | Kotak pemodelan fisik tanah gambut yang distabilisasi dengan <i>admixture</i> untuk dua jenis model fisik | 61 |
| Gambar 3.3 | Dua jenis pemodelan fisik gambut yang distabilisasi | 63 |

| | | |
|--------------|--|----|
| Gambar 3.4 | Tampak atas lokasi pengujian pada dua jenis pemodelan gambut yang distabilisasi. | 64 |
| Gambar 3.5 | Diagram alir penelitian tahap dua | 66 |
| Gambar 4.1 | Grafik Pemampatan gambut initial dengan beban 50 kPa | 72 |
| Gambar 4.2 | Foto SEM tanah gambut initial | 72 |
| Gambar 4.3 | Foto SEM tanah gambut yang distabilisasi pembesaran 2000x usia stabilisasi 30 hari. | 73 |
| Gambar 4.4 | Foto SEM tanah gambut yang distabilisasi pembesaran 2000x usia stabilisasi 120 hari. | 74 |
| Gambar 4.5 | Foto SEM tanah gambut yang distabilisasi pembesaran 2000x usia stabilisasi 180 hari. | 75 |
| Gambar 4.6 | Perilaku prosentase berat Silica (Wt_Si) pada tanah gambut yang distabilisasi hasil uji SEM EDX. | 76 |
| Gambar 4.7 | Perilaku prosentase berat Kapur (Wt_Ca) pada tanah gambut yang distabilisasi hasil uji SEM EDX | 77 |
| Gambar 4.8 | Perilaku prosentase berat Oksigen (Wt_O) pada tanah gambut yang distabilisasi hasil uji SEM EDX | 78 |
| Gambar 4.9 | Pengaruh jarak terhadap perilaku kadar air (wc) tanah gambut yang distabilisasi. | 80 |
| Gambar 4.10 | Pengaruh jarak terhadap perilaku berat volume (γ_t) tanah gambut yang distabilisasi. | 82 |
| Gambar 4.11 | Pengaruh jarak terhadap perilaku specific gravity (Gs) tanah gambut yang distabilisasi | 84 |
| Gambar 4.12 | Pengaruh jarak terhadap perilaku angka pori (e) tanah gambut yang distabilisasi. | 85 |
| Gambar 4.13 | Pengaruh jarak terhadap perilaku kadar organik (Oc) tanah gambut yang distabilisasi. | 88 |
| Gambar 4.14 | Pengaruh jarak terhadap perilaku kadar abu (Ac) tanah gambut yang distabilisasi. | 89 |
| Gambar 4.15. | Pengaruh jarak terhadap perilaku kuat geser (τ) tanah gambut yang distabilisasi. | 91 |

| | | |
|-------------|--|-----|
| Gambar 4.16 | Pengaruh jarak terhadap perilaku pemampatan (Δh) tanah gambut yang distabilisasi. | 93 |
| Gambar 4.17 | Perilaku kadar air (w_c) tanah gambut yang distabilisasi di beberapa titik pengujian. | 96 |
| Gambar 4.18 | Perilaku berat volume tanah (γ_t) tanah gambut yang distabilisasi di beberapa titik pengujian. | 99 |
| Gambar 4.19 | Perilaku specific gravity (G_s) tanah gambut yang distabilisasi di beberapa titik pengujian | 100 |
| Gambar 4.20 | Perilaku angka pori (e) tanah gambut yang distabilisasi di beberapa titik pengujian. | 103 |
| Gambar 4.21 | Perilaku kandungan organik (O_c) dan kandungan abu (A_c) tanah gambut yang distabilisasi di beberapa titik pengujian. | 105 |
| Gambar 4.22 | Perilaku kuat geser (τ) tanah gambut yang distabilisasi di beberapa titik pengujian. | 106 |
| Gambar 4.23 | Perilaku pemampatan (Δh) tanah gambut yang distabilisasi di beberapa titik pengujian. | 109 |
| Gambar 4.24 | Foto admixture yang tidak tercampur dengan baik saat proses stabilisasi tanah gambut. | 110 |
| Gambar 4.25 | Pemodelan volume kendali pertumbuhan kristal pada proses stabilisasi gambut dengan Metode Beda Hingga. | 111 |
| Gambar 4.26 | <i>Output</i> komputasi numerik dengan Metode Beda Hingga untuk gambut dengan 15% admixture dengan variasi lebar area stabilisasi terhadap waktu | 114 |
| Gambar 4.27 | Pengaruh jarak area stabilisasi terhadap gambut initial untuk nilai γ_t tanah gambut yang distabilisasi pada $t=8000$ (240 hari) | 115 |
| Gambar 4.28 | <i>Ouput</i> komputasi numeric metode Interpolasi Lagrange untuk parameter tanah gambut yang distabilisasi dengan 15% admixture dan lebar area stabilisasi yang berbeda beda | 116 |
| Gambar 4.29 | Kurva validasi data laboratoirum dengan prediksi numerik Metode Beda Hingga dan Interpolasi Lagrange | 117 |

| | | |
|-------------|--|-----|
| Gambar 4.30 | Validasi hasil data laboratorium dan interpolasi Lagrange untuk 15% admixture untuk sifat teknis tanah gambut yang distabilisasi | 119 |
| Gambar 4.31 | Validasi hasil data laboratorium dan interpolasi Lagrange untuk 15% admixture untuk sifat fisik tanah gambut yang distabilisasi | 120 |
| Gambar 4.32 | Output Interpolasi Lagrange untuk gambut dengan 15% admixture dengan variasi jarak dari tepi gambut initial | 122 |
| Gambar 4.33 | <i>Output</i> Interpolasi Lagrange untuk gambut dengan 15% admixture dengan variasi jarak dari tepi gambut initial | 123 |

DAFTAR TABEL

| | | |
|------------|--|----|
| Tabel 1.1 | Kegiatan Penelitian Stabilisasi Tanah Gambut yang Telah dilakukan | 9 |
| Tabel 2.1a | Penyebaran Tanah Gambut di Pulau Sumatera | 16 |
| Tabel 2.1b | Penyebaran Tanah Gambut di Pulau Kalimantan | 16 |
| Tabel 2.1c | Penyebaran Tanah Gambut di Pulau Papua | 17 |
| Tabel 2.2 | Klasifikasi ASTM D4427-92 | 17 |
| Tabel 2.3 | Sistem Klasifikasi Von Post | 18 |
| Tabel 2.4 | Klasifikasi Tanah Gambut Menurut Tebal Lapisan Gambut | 20 |
| Tabel 2.5 | Ukuran Butiran Maksimum Untuk Kapur Jenis A, B, dan C | 31 |
| Tabel 2.6a | Persyaratan Kimia Kapur Tipe I | 32 |
| Tabel 2.6b | Persyaratan Kimia Kapur Tipe II | 32 |
| Tabel 2.7 | Parameter Tanah Gambut yang Distabilisasi 10% Admixture | 39 |
| Tabel 4.1 | Sifat Fisik Gambut Tidak Terganggu | 70 |

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gambut Indonesia terbentuk dalam waktu kurang lebih 5000 tahun yang lalu (Hardjowigeno, 1997) dan merupakan jenis gambut tropis yang terbentuk sebagai hasil proses penumpukan sisa tumbuhan rawa seperti berbagai macam jenis rumput, paku-pakuan, bakau, pandan, pinang, serta tumbuhan rawa lainnya (Van de Meene, 1984). Karena tempat tumbuh dan tertimbunnya sisa tumbuhan tersebut selalu lembab dan tergenang air serta sirkulasi oksigen yang kurang bagus, maka proses humifikasi oleh bakteri tidak berjalan dengan sempurna. Sebagai akibatnya sebagian serat-serat tumbuhan masih terlihat jelas dan sangat mempengaruhi perilaku dari tanah gambut yang bersangkutan.

MacFarlane dan Radforth (1965) menyatakan bahwa tanah gambut dibedakan menjadi 2 (dua) kelompok menurut kandungan seratnya yaitu: kandungan serat $\geq 20\%$, dinamakan *Fibrous Peat* (Gambut Berserat), sedang tanah gambut dengan kandungan serat $< 20\%$ dinamakan *Amorphous Granular Peat* (gambut tidak berserat). Tanah gambut berserat dan gambut tidak berserat dapat dikelompokkan sebagai tanah sangat lembek dan pada umumnya mempunyai kemampuan mendukung beban (daya dukung/ *bearing capacity*) yang rendah dan pemampatan (*settlement*) yang besar.

Sifat fisik tanah gambut yang berpengaruh terhadap perencanaan sebagai tanah dasar (pondasi) diantaranya adalah: kadar air, angka pori, koefisien rembesan, kadar serat, kandungan organik, dan kemampuan menyusut. Kemampuan tanah gambut untuk menyerap dan menyimpan air cukup tinggi sehingga kadar air tanah gambut dapat lebih besar dari 600%. Nilai angka pori tanah gambut yang berkisar 5-15 menyebabkan tanah gambut sangat sensitif terhadap beban yang bekerja di atasnya (mudah mampat). Nilai rembesan tanah gambut juga sangat besar menyerupai harga rembesan tanah pasir berkisar $2 \cdot 10^{-2}$ – $1,2 \cdot 10^{-6}$ cm/det. Penyusutan yang terjadi pada tanah gambut yang disebabkan oleh beberapa faktor dapat mencapai 50% dari volume total. Namun setelah

terjadi penyusutan, kemampuan untuk menyerap air jauh berkurang. Kadar organik tanah gambut Indonesia berkisar antara 95%-99% (Mochtar, 1991, 1998, 1999 dan 2002). Kadar organik yang tinggi berpengaruh terhadap sifat fisik lainnya. Secara umum kadar organik yang tinggi akan menyebabkan kadar air, angka pori dan pemampatan yang tinggi pula.

Sifat teknis tanah gambut yang paling menonjol adalah daya dukungnya yang rendah dan kemampumampatannya yang tinggi. Berbagai penyelidikan terhadap daya dukung tanah gambut menunjukkan bahwa daya dukungnya bahkan lebih rendah dari *soft clay* (Jelusic dan Leppanen, 2001). Edil dan Dhowian, (1980) menyatakan bahwa nilai sudut geser-dalam tanah gambut berserat sangat besar yaitu $> 50^0$; tetapi hal tersebut sangat dipengaruhi oleh serat yang ada. Landva (1982) menyatakan bahwa harga sudut geser-dalam untuk tanah gambut berserat sebenarnya berkisar antara $27^0 - 32^0$. Kemampuan tanah gambut yang tinggi untuk menyerap dan menyimpan air akan berpengaruh pada sifat teknis tanah gambut (Vautrain, 1976); semakin besar kadar air yang terkandung pada tanah gambut semakin kecil pula kekuatannya. Selain itu, tanah gambut mempunyai pemampatan yang tinggi (*High Compressibility*) sehingga sangat sensitif terhadap beban yang bekerja di atasnya.

Karena perilaku tanah gambut tersebut, terutama untuk gambut berserat, banyak bangunan sipil yang berada di atasnya mengalami kerusakan. Kerusakan yang terjadi disebabkan besar dan tidak meratanya pemampatan yang terjadi. Pada konstruksi jalan raya, pemampatan akan lebih lama terjadi apabila tanah gambut memiliki lapisan yang sangat tebal; seperti pada jalan raya di daerah tumbang nusa Palangkaraya yang berada di atas tanah gambut berserat yang mempunyai ketebalan mencapai 16 meter harus menggunakan tiang pancang untuk mengatasi permasalahan yang timbul akibat daya dukung yang rendah dan pemampatan yang besar. Kasus lainnya terjadi pada jalan arteri Pontianak-Supadio jalur 1 yang berada di atas lapisan tanah gambut setebal 4-6 meter; pemampatan tetap berlangsung selama 2 tahun dengan kecepatan sekitar 20 cm pertahun.

Untuk menghindari kerusakan pada konstruksi bangunan sipil di atas tanah gambut tersebut diperlukan suatu metode perbaikan tanah dengan tujuan untuk

meningkatkan daya dukungnya dan mengurangi pemampatan yang terjadi. Metode perbaikan tanah gambut yang diterapkan terbagi dalam dua jenis yaitu, metode mekanis dan metode stabilisasi. Metode perbaikan secara mekanis berupa *corduroy* atau galar kayu dengan diameter 8-10 cm diatas tanah gambut yang akan dijadikan penopang bangunan sipil dan dengan metode cerucuk kayu (*dolken*) yang banyak digunakan untuk meningkatkan daya dukung tanah gambut untuk konstruksi jalan raya. Metode *corduroy* maupun cerucuk kayu membutuhkan kayu dengan volume sangat besar sehingga akan berdampak pada kelestarian hutan yang ada. Selain itu metode mekanis lainnya berupa pengelupasan lapisan tanah gambut dangkal (*replacement*) atau dengan sistem *preloading*, metode ini banyak digunakan untuk konstruksi jalan raya di Kalimantan Tengah maupun Kalimantan Barat tetapi metode *replacement* dan *preloading* tidak efektif digunakan apabila lapisan tanah gambut mempunyai tebal diatas 5 meter (gambut dalam); hal ini dikarenakan penurunan masih terus berlangsung dalam waktu yang sangat lama (kasus tumbang nusa Kalimantan Tengah) dan membutuhkan bahan urugan yang besar sehingga dapat merusak lingkungan ditempat galian.

Metode stabilisasi tanah gambut dilakukan dengan mencampurkan bahan aditif pada tanah gambut. Metode ini dilakukan dengan material stabilisasi berupa *fly ash*, *blast-furnace slag* maupun sisa produksi sulfur telah diterapkan dan terus dikembangkan dengan metode *Deep Soil Mixing* (DSM) diberbagai negara seperti Swedia, Finlandia, Jepang dan Amerika Serikat. Metode ini dilakukan dengan cara mencampurkan material *admixture* dengan tanah gambut dilapangan; hasilnya sangat memuaskan dimana daya dukung tanah meningkat mencapai 140 kPa dan pemampatan yang terjadi juga berkurang sehingga mampu menghemat biaya konstruksi lebih dari 60% (Jelusic & Lappanen, 2001). Metode stabilisasi tanah gambut dengan DSM juga telah diterapkan di Australia dengan bahan *admixture* berupa campuran semen dengan kapur tetapi stabilisasi dengan menggunakan semen-kapur tidak menghasilkan daya dukung yang diharapkan bahkan tidak berhasil (Keller Ground Engineering Pty. Ltd, 2002).

Metode stabilisasi dengan bahan *admixture* berupa semen+kapur+*fly ash*, kapur+semen, *pond ash*, *carbide lime*, semen+*calcium floride*, kapur

(CaCO₃)+Abu sekam padi, kapur+fly ash, maupun semen tipe V masing masing telah dilakukan dalam skala laboratorium oleh Hebib, (2003), Huat (2005), Duraisami (2008), Ilyas (2008), Said (2009), Yulianto (2010), Kolay (2011), Harwadi (2010) dan Kusumawardani (2012). Secara umum hasil dari stabilisasi yang dilakukan pada tanah gambut dapat meningkatkan daya dukung tanah gambut, mengurangi pemampatan serta meningkatkan sifat fisiknya seiring dengan lama usia stabilisasi pada tanah gambut yang distabilisasi. Begitu juga stabilisasi dengan semen dapat menghasilkan peningkatan daya dukung tanah gambut berserat; hanya saja, dalam waktu yang lama terjadi keropos-keropos pada butiran yang distabilisasi dan akhirnya daya dukungnya menurun lagi (Mochtar, NE., 2002).

Yulianto dan Mochtar, (2010) serta Harwadi dan Mochtar, (2010) telah menerapkan metode stabilisasi tanah gambut berserat dengan bahan *admixture* yang ramah lingkungan yaitu sisa produksi pupuk ZA berupa kapur CaCO₃ dan abu sekam padi serta campuran kapur CaCO₃ dengan abu terbang; prosentase campuran *admixture* yang dipakai adalah 30% kapur CaCO₃ dan 70% abu sekam padi/abu terbang. Hasil studi menunjukkan bahwa pemakaian 10% *admixture* dan umur stabilisasi 30 hari memberikan peningkatan perilaku gambut yang paling optimum dimana daya dukung tanah meningkat sebesar 28% dan pemampatannya berkurang 25%. Hanya saja, studi yang telah dilakukan tersebut masih terbatas pada model laboratorium yang belum memperhitungkan pengaruh filtrasi air yang ada disekitar area tanah gambut yang distabilisasi; padahal kenyataan yang ada di lapangan, lahan gambut selalu tergenang air. Untuk itu sangat perlu diketahui apakah sifat fisik dan teknis gambut yang distabilisasi tersebut akan terpengaruh apabila ada filtrasi air dari sekitar area yang distabilisasi.

Penelitian lainnya tentang pengaruh air terhadap stabilisasi tanah gambut juga dilakukan oleh Afif (2012) dimana pada penelitian tersebut telah diperhitungkan filtrasi air terhadap area tanah gambut yang distabilisasi. Hasil studi menunjukkan bahwa filtrasi air pada area tanah gambut yang distabilisasi menyebabkan peningkatan prosentase *admixture* yang harus dicampurkan. Kusumawardani dan Mochtar, (2012) juga telah melakukan penelitian tentang

pengaruh penurunan kadar air tanah gambut terhadap proses stabilisasi yang menggunakan campuran kapur dan sekam padi. Ternyata prosentase *admixture* optimum sebesar 10% menurut Kusumawardani dan Mochtar, (2012) hanya dapat digunakan pada gambut yang kadar airnya turun sampai dengan 80% dari kadar air awalnya. Apabila penurunan kadar air sampai dengan 60% maka prosentase *admixture* optimum untuk stabilisasi gambut berserat adalah 5%; dan metode stabilisasi tidak dapat lagi diaplikasikan untuk tanah gambut berserat apabila penurunan kadar airnya mencapai 50% atau lebih. Dari penelitian yang telah dilakukan tersebut dapat diketahui bahwa keberadaan air pada tanah gambut sangat berpengaruh pada proses stabilisasinya.

Oleh sebab itu sangat diperlukan kelanjutan dari penelitian yang telah dilakukan tersebut dalam rangka menentukan lebar area yang paling efektif untuk distabilisasi agar perubahan perilaku akibat filtrasi air dari lingkungan sekitar di area (yang akan dibangun) adalah paling minimum; untuk selanjutnya, lebar area efektif yang akan distabilisasi tersebut dinamakan sebagai **“Zona Efektif”**. Hipotesa awal dari penelitian ini adalah filtrasi air dari lingkungan sekitar ke dalam zona efektif gambut yang distabilisasi akan berpengaruh terhadap kecepatan reaksi antara *admixture* dengan tanah gambut untuk membentuk kristal *Calcium Silica Hydrates* yang akan mengisi pori tanah dan membungkus serat gambut yang bersangkutan; selain itu proses dekomposisi dari serat yang terbungkus kristal akan berlangsung lebih lambat. Kecepatan proses pembentukan kristal *Calcium Silica Hydrates* dan proses dekomposisi tidak sama di setiap titik yang berada di area yang distabilisasi, tergantung pada lokasi dari titik yang bersangkutan di zona yang distabilisasi; oleh sebab itu penentuan zona efektif tanah gambut yang harus distabilisasi sangat diperlukan agar hasil stabilisasi di area yang akan dibangun paling maksimum.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang diberikan di atas dapat diketahui bahwa pengaruh filtrasi air dari lingkungan sekitar terhadap perubahan perilaku tanah gambut berserat yang distabilisasi sangat perlu untuk dipelajari; begitu juga zona efektif

yang perlu untuk distabilisasi. Jadi permasalahan utama yang akan dicari jawabannya dalam penelitian ini adalah: **berapa zona efektif tanah gambut berserat yang harus distabilisasi agar pengaruh filtrasi air dari sekitar di area (yang akan dibangun) paling minimum.** Secara rinci, permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana perilaku filtrasi air (dari lingkungan sekitar) yang berada didalam zona tanah gambut berserat yang distabilisasi
2. Bagaimana pengaruh filtrasi air dari lingkungan sekitar terhadap perubahan sifat fisik tanah gambut berserat yang distabilisasi
3. Bagaimana pengaruh filtrasi air dari lingkungan sekitar terhadap pembentukan kristal *Calcium Silica Hydrates*(CaSiO_3) yang mempengaruhi pada perubahan perilaku pemampatan dan daya dukung dari tanah gambut yang distabilisasi
4. Berapa lebar zona efektif tanah gambut yang harus distabilisasi agar pengaruh filtrasi air dari sekitar paling minimum

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan **zona efektif tanah gambut berserat yang harus distabilisasi agar pengaruh filtrasi air dari sekitar di area (yang akan dibangun) paling minimum;** dari penelitian ini juga akan diperoleh model numerik yang dapat dipakai untuk memperkirakan zona efektif dari tanah gambut yang distabilisasi. Detail tujuan dari penelitian yang akan dilakukan adalah :

1. Mengetahui kadar air tanah gambut yang distabilisasi di beberapa titik pengujian berdasarkan jarak yang berbeda beda dari tepi gambut initial.
2. Mengetahui proses pembentukan gel/kristal CaSiO_3 melalui kandungan abu (Ac) gambut yang distabilisasi dan kandungan unsur CaSiO_3 serta mengetahui perubahan perilaku pemampatan dan daya dukung gambut yang distabilisasi
3. Mengetahui perubahan sifat fisik dan teknis dari sampel gambut yang distabilisasi akibat filtrasi air dari kedua sisinya pada beberapa titik pengujian yang dilakukan berdasarkan usia stabilisasi.

4. Membuat prediksi numerik dengan metode pemodelan dan interpolasi Lagrange sehingga akan diketahui lebar area stabilisasi maksimal sebagai batas pemodelannya dengan indikasi perubahan sifat fisik dan teknis tanah gambut yang distabilisasi sudah kecil (stabil). Dari pemodelan tersebut akan ditentukan zona efektif yang harus distabilisasi berdasarkan nilai paling optimum dari sifat fisik dan teknis tanah gambut yang distabilisasi dan lebar area yang harus distabilisasi.

1.4 Lingkup Penelitian

Penelitian yang dilakukan ini dibatasi pada hal-hal berikut ini :

1. Penelitian yang dilaksanakan ini merupakan penelitian skala laboratorium
2. Bahan *admixture* yang digunakan merupakan campuran dari 30% kapur dan 70% Abu terbang.
3. Prosentase *admixture* untuk stabilisasi tanah gambut berserat adalah 10% dan 15% dari berat volume tanah gambut.
4. Tanah gambut berserat diambil dari desa Barengbengel Palangkaraya Propinsi Kalimantan Tengah
5. Pengaruh filtrasi air hanya dari kedua sisi tanah gambut yang distabilisasi dan permeabilitas gambut yang distabilisasi tidak diuji.
6. Simulasi numerik yang dilakukan berdasarkan persamaan kendali yang telah ada dengan menggunakan metode beda hingga/*Finite Difference Method* (FDM) yang didiskritisasi dengan metode MacCormack dan penggunaan metode interpolasi Lagrange untuk prediksi parameter gambut yang distabilisasi.

1.5 Manfaat Penelitian

Model matematika yang dihasilkan dari penelitian ini akan sangat berguna dalam memperkirakan zona efektif tanah gambut berserat yang harus distabilisasi di lapangan apabila akan membangun suatu jalan diatas lahan gambut karena dari penelitian ini akan diketahui bagaimana pengaruh filtrasi air dari lingkungan sekitar terhadap perubahan sifat fisik dan teknis tanah gambut yang distabilisasi.

Dengan kata lain lebar tanah gambut yang distabilisasi di lapangan adalah tidak sama dengan ukuran lebar jalan yang direncanakan; untuk itu, keberadaan model matematika tersebut akan sangat membantu para perencana yang akan membangun konstruksi jalan diatas lahan gambut.

1.6. Keaslian Penelitian (*State of The Art*)

Penelitian tentang penentuan area stabilisasi untuk tanah gambut berserat dengan mempertimbangkan filtrasi air dari lingkungan sekitar dalam skala laboratorium masih belum pernah dilakukan sampai saat ini. Penelitian yang dilakukan untuk skala laboratoirum secara umum masih untuk mendapatkan perilaku tanah gambut yang distabilisasi dengan berbagai macam bahan *admixture*. Untuk skala lapangan, stabilisasi tanah gambut menggunakan material seperti *fly ash*, *blas furnace slag* dan produk samping dari pembuatan sulpur telah dilakukan tanpa memperhitungkan area stabilisasi yang harus dilaksanakan di lapangan. Detail dari beberapa hasil penelitian sebelumnya disampaikan pada Tabel 1.1.

Tabel. 1.1. Kegiatan Penelitian tentang Stabilisasi Tanah Gambut yang Telah Dilakukan

| Skala Penelitian | Material Stabilisasi | Peneliti | Hasil Yang Diperoleh | Keterangan |
|---------------------|--|--|--|---|
| Laboratorium | - Cement+Pond Fly Ash+Lime Slag+Cement/Gypsum | - Samir Hebib & Erick R. Farrell. (Irlandia, 2003). | - Daya dukung meningkat dengan meningkatnya prosentase semen dalam material stabilisasi. - Total pemampatan yang terjadi lebih kecil. | - Perhitungan penurunan masih belum menggunakan metode Gibso & Lo 91961). - Prosentase semen sebagai salah satu admixture sangat besar. - Pengaruh air dari lingkungan sekitar diabaikan. |
| | - Cement+Lime | - Bujang H. K & S. Maail, T. A. Mohammed (Malaysia, 2005). | - Nilai LL dan berat volume kring turun dengan meningkatnya stabiliser - Hasil uji UCS menunjukkan nilai yang qu naik bertambahnya admixture dan masa peram. - Penambahan stabiliser memberikan efek positif bagi sifat teknik gambut stabilisasi. | - LL bukan parameter utama dalam tanah gambut - Tidak disebutkan perilaku gambut stabilisasi untuk penambahan admixture diatas 20%. - Gambut bersifat korosif terhadap semen. - Filtrasi air diabaikan. |
| | - Cement Columns | - Y. Duraisami (Malaysia, 2008). | - Nilai LL mempunyai hubungan dengan OC - Berat kering naik dengan menurunnya kadar air. - Nilai GS meningkat seiring meningkatnya OC - Nilai Cc dan Ca menurun dengan bertambahnya Diameter semen kolom. | - Parameter Cc dan Ca tidak berperan penting, dalam menentukan penurunan gambut berserat. - Penggunaan persamaan Terzhagi untuk menentukan penurunan pada gambut dengan diasumsikan sebagai tanah NC. |
| | - Cement Portland tipe -V (PC-V) | - Tommy Ilyas, W. Rahayu & D. S. Arifin (Indonesia, 2008). | - Nilai CBR naik dan nilai swelling turun dengan bertambahnya prosentase semen dan lamanya masaperam. - Nilai CBR pada gambut stabilisasi sebesar 3%. | - Stabilisasi dgn semen kurang baik karena tanah gambut bersifat korosif. - Swelling pada tanah gambut bukan merupakan parameter yang berpengaruh. - Nilai CBR 3% tdk memenuhi syarat untuk dijadikan pondasi untuk jalan raya. |

Tabel. 1.1. Kegiatan Penelitian Stabilisasi Tanah Gambut yang Telah Dilakukan (lanjutan)

| Skala Penelitian | Material Stabilisasi | Peneliti | Hasil Yang Diperoleh | Keterangan |
|---------------------|--|--|--|---|
| Laboratorium | - Carbide+Lime | - Said J. M & Taib S. N. L (Malaysia, 2009). | - Nilai UCS meningkat dengan bertambahnya prosentase admixture dan bertambahnya masa peram. | - Prilaku penambahan admixture diatas 12% tidak dijelaskan. - Pengaruh filtrasi air diabaikan |
| | - Sodium Meta Silica | - D. A den Hamer, A. A. M. Venmas, V. H. van der Zon, J. J. Olie (Belanda, 2009) | - Daya dukung tanah gambut meningkat mencapai 1 Mpa. - Lebih efesien dan efektif dalam penerapannya. | - Filtrasi air belum dijelaskan - Area stabilisasi masih belum dijadikan variabel penelitian. |
| | - Abu Sekam Padi+Kapur (CaCO_3) | - Noor Endah & Faisal Estu Y. (Indonesia, 2010). | - Sifat fisik gambut stabilisasi menjadi lebih baik. - Pemampatan lebih kecil dari semula - Daya dukung meningkat - Penambahan 10% admixture (30% Kapur+70% abu sekam padi) paling optimal. | - Pengaruh filtrasi air masih diabaikan. - Area stabilisasi tdk dijadikan variabel penelitian. |
| | - Abu Terbang+kapur (CaCO_3) | - Noor Endah & Fuad Harwadi (Indonesia, 2010). | - Sifat fisik gambut stabilisasi menjadi lebih baik. - Pemampatan lebih kecil dari semula - Daya dukung meningkat - Penambahan 10% admixture (30% Kapur+70% abu sekam padi) paling optimal. | - Pengaruh filtrasi air masih diabaikan. - Area stabilisasi tdk dijadikan variabel penelitian. |
| | - Class F Pond Ash. | - Kolay P. K. & Sii H. Y., Taib S. N. L (Malaysia, 2011) | - Berat kering naik dengan turunya kadar air - Hasil UCS meningkat dengan bertambahnya admixture dan masa peram. | - Pengaruh penambahan admixture diatas 20% tidak disebutkan. - Filtrasi air diabaikan. |
| | - Abu Sekam Padi+Kapur (CaCO_3) | - Ma'ruf M. A. (2012) | - Sifat fisik meningkat dengan bertambahnya masa peram. - Daya dukung Meningkat dan pemampatan menurun. - Penambahan 15% admixture merupakan penambahan yang memberikan hasil optimal. | - Prilaku filtrasi air masih belum dijelaskan. - Area stabilisasi tanah gambut belum dijadikan variabel (area ditentukan). |
| | - Portland Composite Cement+Sodium Bnetonite | - Leong Sing Wong, R. Hasyi, Faisal Ali (mlyasia, 2013) | - Nilai sudut geser naik dari 8° menjadi $43,2^\circ$ - Nilai kohesi naik dari 10 kPa menjadi 262 kPa pada masa peram 28 hari. - Koef. Rembesan gambut menurun seiring bertambahnya masa peram. | - Filtrasi air belum dijelaskan - Area stabilisasi masih belum dijadikan variabel penelitian. |

Tabel. 1.1. Kegiatan Penelitian Stabilisasi Tanah Gambut yang Telah Dilakukan (lanjutan)

| Skala Penelitian | Material Stabilisasi | Peneliti | Hasil Yang Diperoleh | Keterangan |
|------------------|--|--|---|--|
| Lapangan | - Fly Ash, Blast Furnace Slag (Metode Mass Stabilization) | - Nenad Jelusic, Mikko Lappanen (Swedia, 2001) | - Daya dukung meningkat dari 7 kPa menjadi 140 kPa. - Penurunan yang terjadi sangat berkurang | - Filtrasi air belum dijelaskan - Zona stabilisasi tidak dijelaskan |
| | - Semen+Silica (Metode Dry Jet Mixing) | - Yang, S. D., Yagihashi, J. N. and Yoshizawa, S. S. (Jepang, 1998). | - Daya dukung meningkat minimal 7 kgf/m ² (UCS). | - Filtrasi air belum dijelaskan - Zona stabilisasi tidak dijelaskan |
| | - Semen+Silica (Metode Combination Spill Stabilization and Vertical Column) | - Reitmeier, W. and Scheller, P (Belanda, 2000). | - Tdk ada penjelasan tentang perubahan parameter tanah gambut stabilisasi namun sukses sebagai pondasi untuk jalan raya di Belanda. | - Filtrasi air belum dijelaskan - Zona stabilisasi tidak dijelaskan |
| | - Semen+Kapur (Metode Deep Soil Mixing) | - Keller Ground Company, Pty. Ltd. (Australia, 2002) | - Stabilisasi semen+kapur tidak dapat menghasilkan daya dukung yang baik. | - Filtrasi air belum dijelaskan - Zona stabilisasi tidak dijelaskan |

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

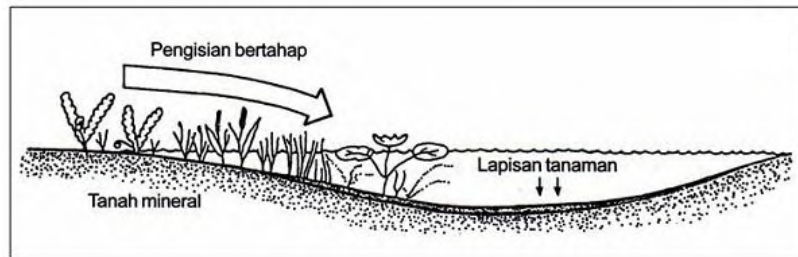
2.1 Tanah Gambut

2.1.1 Asal-usul Terbentuknya Tanah Gambut

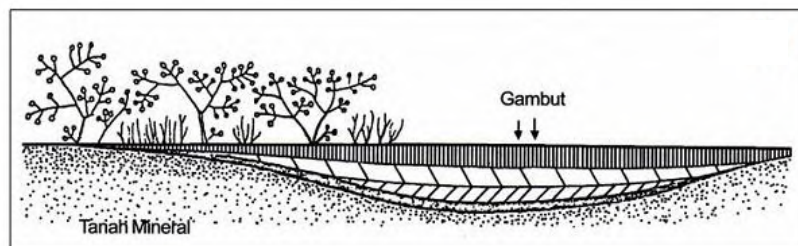
Pembentukan tanah gambut dimulai dari adanya danau dangkal atau cekungan yang digenangi air atau tertutup salju dan secara perlahan ditumbuhi oleh tanaman air dan vegetasi lahan basah. Tanaman yang mati yang merupakan bahan-bahan organik pada lingkungan tersebut akan mengalami pelapukan (dekomposisi); Proses pelapukan yang terjadi secara anaerob dengan laju akumulasi penambahan bahan organik lebih tinggi dibandingkan laju dekomposisinya secara bertahap akan membentuk lapisan yang kemudian menjadi lapisan transisi antara lapisan gambut dengan substratum (lapisan di bawahnya) berupa tanah mineral. Tanaman berikutnya tumbuh pada bagian yang lebih tengah dari danau dangkal tersebut dan secara perlahan membentuk lapisan-lapisan gambut sehingga danau tersebut menjadi penuh dengan lapisan tanah gambut seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1a dan Gambar 2.1b (Agus dan Subiksa, 2008). Berdasarkan proses pembentukannya tersebut, tanah gambut dapat dibedakan menjadi 2 (dua) jenis, yaitu :

1. Gambut tropis (*Tropical Peat*) yang terbentuk sebagai akibat dari akumulasi bahan organik di lingkungan yang jenuh atau tergenang air pada daerah tropis, dan
2. Gambut sub tropis (*Temperate Peat*) yang terbentuk akibat pelapukan tumbuhan yang ada pada rawa-rawa atau dataran rendah dengan kondisi yang menyebabkan aktivitas mikroorganisme terhambat akibat terendam salju.

Tanah gambut juga dapat dibedakan berdasarkan sejarah geologinya, yaitu gambut topogen dan gambut ombrogen. Gambut topogen adalah tanah gambut yang terbentuk akibat pelapukan tumbuhan rawa (pelapukan awal) sampai dengan ketebalan tanah gambut yang terbentuk masih memungkinkan akar tumbuhan yang hidup pada lingkungan tersebut masih dapat mencapai lapisan tanah anorganik (tanah mineral) dibawah lapisan tanah gambut;



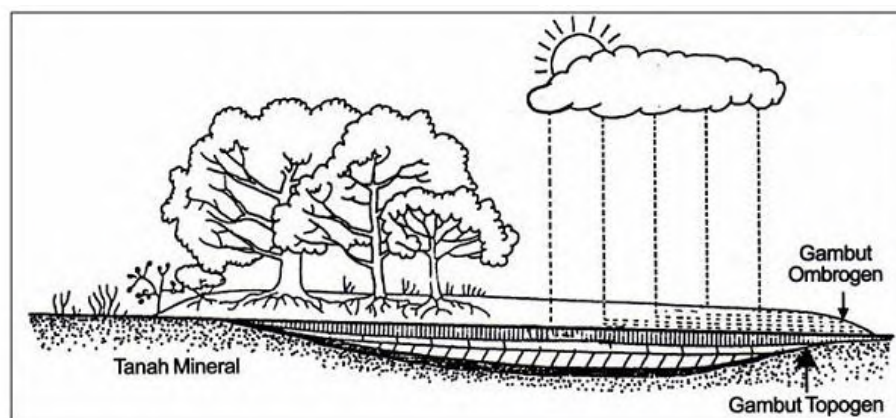
(a) Pentahapan pembentukan lahan gambut di danau dangkal



(b) Lahan gambut yang telah menutup seluruh danau dangkal

Gambar 2.1. Proses pembentukan lahan gambut di daerah tropis
(Sumber : Panduan Geoteknik, 2001)

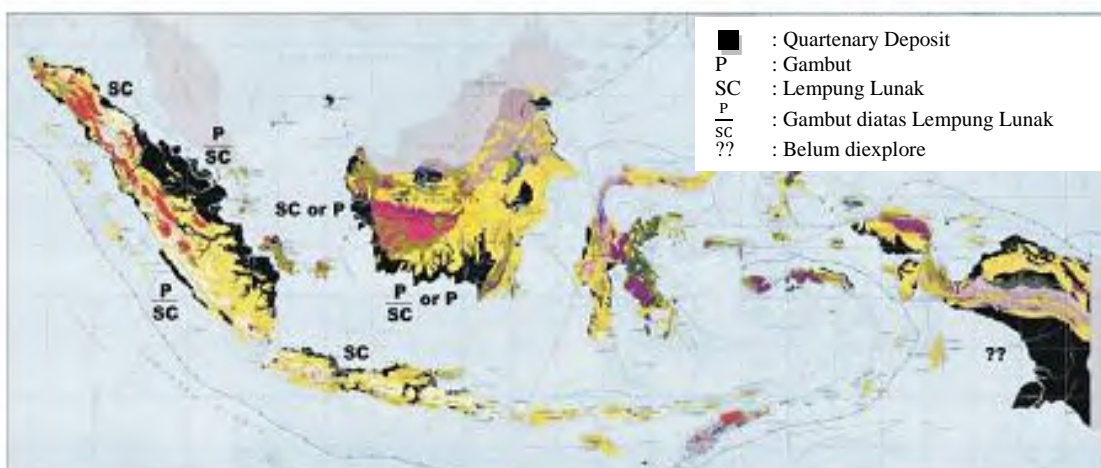
Sedangkan gambut ombrogen adalah tanah gambut yang terbentuk dari pelapukan bahan organik atau tumbuhan yang akarnya tidak bisa mencapai lapisan tanah anorganik (tanah mineral), dengan kata lain lapisan gambut topogen berada dibawah lapisan gambut ombrogen seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Pembentukan lapisan gambut topogen dan gambut ombrogen (Agus, dan Subiksa, 2008)

2.1.2 Tanah Gambut di Indonesia

Tanah gambut Indonesia merupakan tanah gambut tropis karena pembentukannya diakibatkan oleh lingkungan jenuh air seperti yang dijelaskan sebelumnya. Tanah gambut Indonesia terbentuk mulai kira-kira 5.000 hingga 18.000 tahun yang lalu (Panduan Geoteknik, 2001) dengan luas mencapai kurang lebih 20,6 juta hektar atau sekitar 10,8% luas daratan Indonesia (Wetlands International, 2004). Sekitar 93% luas gambut Indonesia berada di 3 (tiga) pulau besar, yaitu Pulau Sumatera seluas 6,4 juta hektar, Pulau Kalimantan seluas 4,8 juta hektar dan Pulau Papua seluas 3,7 juta hektar dengan lokasi yang hampir keseluruhannya berada dekat pantai atau dataran rendah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 (Panduan Geoteknik, 2001). meskipun tanah gambut tropis sebagian besar berlokasi di dataran rendah tetapi tanah gambut juga dapat terbentuk pada cekungan di dataran tinggi (Whitemore, 1984).



Gambar 2.3. Peta lokasi tanah gambut Indonesia (Panduan Geoteknik, 2001)

Ketebalan lapisan gambut Indonesia sangat bervariasi dari gambut sangat dangkal dengan ketebalan kurang dari 100 cm sampai dengan gambut dalam dengan ketebalan lapisan tanah gambut mencapai lebih dari 300 cm. Tabel 2.1a sampai 2.1c menunjukkan variasi ketebalan tanah gambut Indonesia pada setiap propinsi di 3 (tiga) pulau, yaitu Sumatera, Kalimantan dan Papua. Gambut Indonesia didominasi gambut yang mempunyai ketebalan lapisan kurang dari 300 cm dengan prosentase mencapai lebih dari 80%, sedangkan sisanya adalah gambut dalam dengan tebal lapisan diatas 300 cm; Meskipun prosentase gambut dalam

kurang dari 20% akan tetapi ketebalan lapisan tanah gambut dalam ada yang mencapai lebih dari 1200 cm seperti tanah gambut yang terletak di daerah Tumbang Nusa Palangkaraya Kalimantan Tengah pada jalan raya trans Kalimantan.

Tabel 2.1a. Penyebaran Tanah Gambut Di Pulau Sumatera

| Lokasi/ Propinsi | Kedalaman | | | | Luas | |
|----------------------|----------------|---------------|---------------|--------------|-----------|--------|
| | Sangat Dangkal | Dangkal | Sedang | Dalam | Ha | % |
| | < 100 cm | 100 - <200 cm | 200 - <300 cm | > 300 cm | | |
| Aceh | 144,274 Ha | 71,430 Ha | - | - | 215,704 | 3.35 |
| Sumatera Utara | 209,335 Ha | 36,472 Ha | - | 15,427 Ha | 261,234 | 4.06 |
| Sumatera Barat | 11,454 Ha | 24,370 Ha | 14,533 Ha | 50,329 Ha | 100,686 | 1.56 |
| Riau | 509,209 Ha | 908,553 Ha | 838,538 Ha | 1,611,114 Ha | 3,867,414 | 60.08 |
| Kepulauan Riau | 103 Ha | 8,083 Ha | - | - | 8,186 | 0.13 |
| Jambi | 91,816 Ha | 142,716 Ha | 345,811 Ha | 40,746 Ha | 621,089 | 9.65 |
| Bengkulu | 3,856 Ha | 802 Ha | 2,451 Ha | 944 Ha | 8,053 | 0.13 |
| Sumatera Selatan | 705,357 Ha | 515,400 Ha | 41,627 Ha | - | 1,262,384 | 19.61 |
| Kep. Bangka Belitung | 42,568 Ha | - | - | - | 42,568 | 0.66 |
| Lampung | 49,331 Ha | - | - | - | 49,331 | 0.77 |
| Pulau Sumatera | 1,767,303 Ha | 1,707,826 Ha | 1,242,960 Ha | 1,718,560 Ha | 6,436,649 | 100.00 |
| Prosentase (%) | 27.46 | 26.53 | 19.31 | 26.70 | 100 | |

(Sumber :Litbang Pertanian, 2011)

Tabel 2.1b. Penyebaran Tanah Gambut Di Pulau Kalimantan

| Lokasi/ Propinsi | Kedalaman | | | | Luas | |
|---------------------|----------------|---------------|---------------|--------------|-----------|--------|
| | Sangat Dangkal | Dangkal | Sedang | Dalam | Ha | % |
| | < 100 cm | 100 - <200 cm | 200 - <300 cm | > 300 cm | | |
| Kalimantan Barat | 421,697 Ha | 818,460 Ha | 192,988 Ha | 246,989 Ha | 1,680,134 | 35.16 |
| Kalimantan Tengah | 572,372 Ha | 508,648 Ha | 632,989 Ha | 945,225 Ha | 2,659,234 | 55.66 |
| Kalimantan Timur | 10,185 Ha | 21,124 Ha | 74,962 Ha | - Ha | 106,271 | 2.22 |
| Kalimantan Selatan | 44,357 Ha | 41,582 Ha | 171,830 Ha | 74,597 Ha | 332,366 | 6.96 |
| Pulau Kalimantan | 1,048,611 Ha | 1,389,814 Ha | 1,072,769 Ha | 1,266,811 Ha | 4,778,005 | 100.00 |
| Prosentase (%) | 21.95 | 29.09 | 22.45 | 26.51 | 100 | |

(Sumber :Litbang Pertanian, 2011)

Tabel 2.1c. Penyebaran Tanah Gambut Di Pulau Papua

| Lokasi/ Propinsi | Kedalaman | | | | Luas | |
|---------------------|----------------|---------------|---------------|----------|-----------|--------|
| | Sangat Dangkal | Dangkal | Sedang | Dalam | Ha | % |
| | < 100 cm | 100 - <200 cm | 200 - <300 cm | > 300 cm | | |
| Papua | 1,506,913 Ha | 817,651 Ha | 319,874 Ha | - | 2,644,438 | 71.65 |
| Papua Barat | 918,610 Ha | | 127,873 Ha | - | 1,046,483 | 28.35 |
| Pulau Papua | 2,425,523 Ha | 817,651 Ha | 447,747 Ha | - | 3,690,921 | 100.00 |
| Prosentase (%) | 65.72 | 22.15 | 12.13 | 0.00 | 100 | |

(Sumber :Litbang Pertanian, 2011)

2.2 Jenis Tanah Gambut Dan Sistem Klasifikasinya

MacFarlane dan Radforth (1965) membagi tanah gambut menjadi 2 (dua) kelompok besar yaitu : tanah gambut berserat (*fibrous peat*) dengan kandungan serat mencapai 20% atau lebih dan tanah gambut tidak berserat (*amorpous granular peat*) dengan kandungan serat lebih kecil dari 20%; Sedangkan Menurut Mankinen, dkk. (1982) tanah organik dengan kandungan $\geq 50\%$ dikelompokkan dalam tanah gambut (USSR sistem). Hal yang berbeda disampaikan oleh Landva, dkk. (1982), Kearns, dkk. (1982) dan ASTM (1985) yang menyebutkan bahwa yang termasuk tanah gambut adalah tanah dengan kandungan organik $\geq 75\%$. ASTM D 4427-92 (1992) mengelompokkan tanah gambut didasarkan atas lima hal yaitu : kadar serat, kadar abu, tingkat keasaman, tingkat penyerapan dan konposisi tumbuhan seperti ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2.Klasifikasi ASTM D4427-92

| Dasar Klasifikasi | Kategori | Keterangan |
|-----------------------|---|--|
| Kandungan serat | 1. Fibric 2. Hemic 3. Sapric | Kandungan serat > 67% Kandungan serat 33-67 % Kandungan serat <33% |
| Kandungan abu | 1. Low ash 2. Medium ash 3. High ash | Kandungan abu < 5% Kandungan abu 5-15% Kandungan abu > 15% |
| Keasaman (Acidity) | 1. High Acidity 2. Moderate Acidity 3. Slightly Acidity 4. Basic | Nilai pH <4,5 Nilai pH 4,5-5,5 Nilai pH 5,5-7 Nilai pH > 7 |

Tabel 2.2. Klasifikasi ASTM D4427-92 (Lanjutan)

| | | |
|------------------|---|---|
| Absorbency | 1. Extremely 2. Highly 3. Moderately 4. Slightly | Kapasitas daya tampung air > 1500% Kapasitas daya tampung air 800-1500% Kapasitas daya tampung air 300-800% Kapasitas daya tampung air <300% |
| Komposisi botani | 1. Single botani 2. Multiple botani | Paling sedikit 75% dari kandungan seratnya dari satu jenis tanaman pembentuknya Paling banyak 25% dari kandungan seratnya dari satu jenis tanaman pembentuknya |

(Sumber : ASTM D4427-92)

Sistem lain yang juga digunakan dalam klasifikasi tanah gambut adalah sistem Von post (1992), seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.3, dimana sistem klasifikasinya sangat sederhana hanya didasarkan pada kondisi fisik tanah gambut yang diremas melalui tangan dan diamati secara visual. Sistem ini didasarkan pada tingkat pelapukan (dekomposisi) serat tanah gambut untuk mengetahui tingkat dekomposisi dari tanah gambut sehingga klasifikasi gambut dengan mudah dapat diketahui.

Tabel 2.3. Sistem Klasifikasi Von Post (1992)

| Derajat Dekomposisi | Deskripsi |
|----------------------------|--|
| H1 | Gambut yang sama sekali belum membusuk, yang mengeluarkan air cukup jernih. Sisa sisa tumbuhan yang ada akan dengan mudah diidentifikasi. Tak ada material amorf yang terlihat. |
| H2 | Gambut yang hampir seluruhnya belum mengalami pembusukan sama sekali, yang mengeluarkan air cukup jernih atau sedikit kekuningan. Sisa sisa tumbuhan yang ada akan dengan mudah diidentifikasi. Tak ada material amorf yang terlihat. |
| H3 | Gambut yang sangat sedikit mengalami pembusukan, yang mengeluarkan air keruh dan berwarna coklat, tapi jika diremas tak ada bagian gambut yang melalui sela sela jari. Sisa sisa tumbuhan yang ada masih dapat dengan mudah diidentifikasi. tak ada material amorf yang terlihat. |
| H4 | Gambut yang sangat sedikit mengalami pembusukan, yang mengeluarkan air gelap dan sangat keruh. Jika diremas tak ada bagian gambut yang melalui sela sela jari tapi sisa sisa tumbuhan yang ada sedikit berbentuk seperti bubur dan telah kehilangan beberapa ciri yang dapat dikenali. |

Tabel 2.3. Lanjutan Sistem Klasifikasi Von Post (1992)

| | |
|-----|---|
| H5 | Gambut yang mengalami pembusukan sedang yang mengeluarkan air gelap dan sangat keruh. Jika diremas akan ada sedikit butiran gambut amorf melalui sela sela jari. Struktur dari sisa sisa tumbuhan sedikit sukar untuk dikenali, walaupun masih memungkinkan untuk mengidentifikasi ciri ciri tertentu. Dan sisa sisa tumbuhan tersebut hampir seluruhnya berbentuk seperti bubur. |
| H6 | Gambut yang hampir separuhnya mengalami pembusukan dengan struktur tumbuhan yang sukar untuk dikenali. Jika diremas sekitar sepertiga bagian dari gambut akan keluar melewati sela sela jari. Sisa sisa tumbuhan tersebut hampir seluruhnya berbentuk seperti bubur dan menunjukkan struktur tumbuhan yang lebih mudah untuk dikenali dibandingkan sebelum diremas. |
| H7 | Gambut yang lebih dari separuhnya telah membusuk. mengandung banyak material amorf dan struktur tumbuhan sangat kering yang sukar dikenali. Jika diremas sekitar setengah bagian dari gambut akan keluar melewati sela sela jari. walaupun ada air yang keluar akan berwarna sangat gelap. |
| H8 | Gambut yang hampir seluruhnya telah membusuk dengan sejumlah besar material amorf dan struktur tumbuhan sangat kering yang sukar dikenali. Jika diremas sekitar 2/3 bagian dari gambut akan keluar melewati sela sela jari. Sejumlah kecil sisa sisa tumbuhan akan tertinggal di tangan berupa sisa sisa akar dan serat yang tidak membusuk. |
| H9 | Gambut yang telah membusuk seluruhnya dimana hampir tidak ada lagi sisa sisa struktur tumbuhan yang dapat dilihat, Jika diremas, hampir seluruh gambut akan keluar melewati sela sela jari dalam bentuk pasta yang hampir seragam. |
| H10 | Gambut yang telah membusuk sempurna tanpa ada struktur tumbuhan yang dapat dilihat. Jika diremas, seluruh bagian gambut yang basah akan keluar melewati sela sela jari. |

(Sumber : Von Post 1992 dalam Panduan Geoteknik 1 2001)

Selain sistem klasifikasi yang telah dijelaskan tersebut, Wetlands Indonesia (2004) mengklasifikasikan tanah gambut berdasarkan ketebalan lapisannya seperti pada Tabel 2.4. Klasifikasi ini penting untuk menentukan metode yang tepat dalam perbaikan sifat fisik dan teknis tanah gambut yang akan dijadikan pondasi bagi struktur bangunan sipil serta untuk tujuan pengembangan wilayah yang

berwawasan lingkungan, Hal ini disebabkan bahwa tanah gambut dalam ($h > 300$ cm) merupakan daerah simpanan air dan karbon dengan jumlah yang sangat besar

Tabel 2.4. Klasifikasi Tanah Gambut Menurut Tebal Lapisan Gambut

| Dasar Kalsifikasi | Kategori | Keterangan |
|----------------------|--------------------|----------------|
| Tebal Lapisan Gambut | 1. $< 1,0$ m | Sangat Dangkal |
| | 2. $1,0 - < 2,0$ m | Dangkal |
| | 3. $2,0 - 3,0$ m | Dalam |
| | 4. $> 3,0$ m | Sangat Dalam |

(sumber : Wetlands Indonesia, 2004)

2.3 Sifat Fisik Dan Teknis Tanah Gambut

2.3.1 Sifat Fisik Tanah Gambut

Parameter tanah gambut yang penting untuk menentukan sifat fisiknya, adalah kadar air, berat jenis/*specific gravity* (G_s), kadar organik dan kadar abu, angka pori, keasaman, kadar gas, rembesan, susut, batas konsistensi dan berat volume. Sifat fisik tersebut sangat dipengaruhi oleh material organik dan proses terbentuknya tanah gambut.

1.Kadar Air (w)

Tanah gambut mempunyai kemampuan menyerap dan menyimpan air yang sangat tinggi sehingga daerah gambut merupakan daerah simpanan air yang sangat besar ditandai dengan muka air tanah yang berada dipermukaan. Jumlah air yang diserap sangat bergantung pada derajat dekomposisi tanah yang bersangkutan. Gambut berserat mempunyai daya serap air yang besar dibandingkan dengan gambut tidak berserat; Hal ini disebabkan gambut berserat mempunyai dua jenis pori, yaitu makropori yang berada diantara serat serat dan mikropori yang berada didalam serat serat gambut. Kadar air tanah gambut asli dalam kondisi jenuh dapat melebihi 600%, namun secara umum variasi kadar airnya berkisar antara 500-1500%, seperti pengujian yang telah dilakukan oleh Mochtar (1991, 2002), Hebib dan Farrel (2003), Huat, dkk (2008), Said dan Taib (2009), Islam dan Hasyim (2009), Wong, dkk (2013), Harwadi dan Mochtar (2010), Yulianto dan Mochtar (2010), Kolay, dkk (2011) serta Kusumawardani (2012) dan Mochtar, dkk (2014). Tetapi nilai kadar air

tersebut dapat berubah dengan drastis apabila tercampur dengan bahan anorganik meskipun dalam kadar yang kecil.

2. *Specific Gravity* (G_s)

Nilai G_s suatu tanah yang mengandung bahan organik cukup tinggi sekitar 1,4, sedangkan tanah mineral umumnya mempunyai nilai G_s 2,7; Hal ini bisa dikatakan bahwa nilai *specific gravity* dari suatu jenis tanah sangat bergantung pada kadar organik yang dimilikinya. Skempton dan Petley (1970) telah membuktikan pada tanah yang terletak pada daerah iklim sedang bahwa kadar organik yang tinggi berpengaruh terhadap nilai G_s suatu tanah. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa nilai G_s dari tanah gambut berkisar antara 0,84 sampai dengan 1,42 (Mochtar, 1991, 2002, Huat, 2008, Said dan Taib, 2009, Islam dan Hasyim, 2009, Wong, 2014, Harwadi dan Mochtar, 2010, Yulianto dan Mochtar, 2010, Kolay, dkk 2011 serta Kusumawardani dan Mochtar, 2012)

3. Kadar Abu dan Kadar Organik (Ash Content dan Organic Content)

Nilai kadar abu tanah gambut bervariasi antara 2-37,5% seperti yang dinyatakan oleh Mochtar (1991, 2002), Hebib dan Farrel (2003), Kuat, dkk (2008), Said dan Taib (2009), Islam dan Hasyim, (2009), Faisal, dkk (2010), Harwadi (2010), Yulianto dan Mochtar (2010), Kolay, dkk (2011) serta Kusumawardani (2012) dan Mochtar (2014). Material organik tanah gambut secara umum merupakan material yang mengandung zat carbon yang mudah terbakar dan berpengaruh terhadap sifat fisik lainnya. Kadar organik yang tinggi akan menyebabkan kadar air, angka pori dan pemampatan yang tinggi pula. Selain itu proses dekomposisi yang terjadi pada tanah gambut akan menyebabkan kadar organiknya meningkat.

4. Angka Pori (e)

Nilai angka pori tanah gambut sangat besar, angka pori dari tanah gambut khususnya gambut berserat bisa mencapai nilai 25 (Hanrahan, 1954); Sedangkan untuk gambut tidak berserat angka porinya lebih kecil dibandingkan gambut berserat, yaitu bernilai 2 (Lea dan Brwaner, 1961). Untuk angka pori pada tanah gambut Tropis, nilai angka pori bervariasi antara 5-11 (Mochtar 1991, 2002, Duraisamy 2008, Faisal, dkk 2010, Yulianto dan Mochtar 2010 dan 2012 serta Kusumawardani dan Mochtar 2012). Nilai angka

pori yang sangat besar ini menyebabkan tanah gambut sangat sensitif terhadap beban yang bekerja di atasnya (mudah mampat) serta mempunyai nilai koefisien rembesan yang besar menyerupai koefisien rembesan tanah pasir.

5. Keasaman (pH)

Tanah gambut mempunyai sifat keasaman yang disebabkan oleh kandungan karbon dioksida dan keasaman yang timbul dari proses pelapukan. Penelitian yang dilakukan Samir (2003), Ilyas, dkk (2008), Kuat, dkk (2008), Islam, dan Hasyim (2009), Faisal, dkk (2010), Yulianto dan Mochtar (2010 & 2012) serta Kusumawardani dan Mochtar (2012) menunjukkan nilai pH pada gambut palangkaraya adalah 3,0 sampai dengan 5,0. Tingkat keasaman tanah gambut bergantung pada musim dan cuaca. MacFarlane dan Rutka (1962) menyatakan bahwa semakin tinggi kadar air pada tanah gambut, harga pH semakin rendah (bersifat asam). Harga pH tertinggi terjadi setelah hujan lebat turun diikuti dengan musim panas yang terik. Karena keasaman yang rendah tanah gambut mempunyai sifat korosif terhadap beton dan baja.

6. Kadar Gas (GC)

Bahan organik yang terendam dibawah muka air tanah tidak seluruhnya bersifat "inert". Proses dekomposisi yang lamban secara bersamaan menghasilkan gas methane serta sedikit gas nitrogen dan karbon dioksida. Moore, dkk (1998) menyebutkan bahwa respirasi aerob sangat dipengaruhi oleh proses pengeringan dan pembasahan pada tanah gambut. Respirasi anaerob pada tanah gambut juga mempengaruhi penurunan SO_4 terlarut dan laju produksi metana (CH_4) serta karbon dioksida (CO_2). Beberapa penelitian yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh siklus pembasahan dan pengeringan (Sani, 2011; Sabiham, 2010; Chow, dkk 2005; Wibowo 2009 dan Wetlands Indoensia, 2004) menyebutkan bahwa terlepasnya gas karbon dioksida serta gas emisi lainnya pada tanah gambut dipengaruhi oleh :

- a. Kadar serat tanah gambut
- b. Kondisi kadar air tanah gambut
- c. Berat volume kering (γ_d) tanah gambut
- d. Suhu pada tanah gambut
- e. Ketebalan lapisan tanah gambut

Selain itu tingkat keasaman tanah gambut juga mempunyai pengaruh pada kandungan karbon dioksida yang terlepas akibat peningkatan suhu ataupun penurunan level muka air tanah gambut. Perhitungan kandungan karbon pada tanah gambut didasarkan pada persamaan yang dijelaskan oleh Wetlands Indonesia (2004) berikut :

$$\text{Kandungan karbon (KC)} = B \times A \times D \times C$$

dengan :

KC = Kandungan karbon (ton)

B = Bobot isi (BD) atau γ_d (ton/m³)

A = Luas tanah gambut (m²)

D = Ketebalan lapisan tanah gambut (m)

C = Kadar karbon organik (%)

Lea dan Brwaner (1963) juga menyatakan bahwa Prosentase gas yang terkandung didalam tanah gambut mempunyai pengaruh terhadap sifat fisik maupun sifat teknisnya. Moran (1958) melakukan test terhadap kandungan gas dan pengaruhnya yang menunjukkan semakin besar kadar gas, angka pori juga turun. Kadar gas yang terkandung pada tanah gambut sebesar 5-10% dari total volume tanah.

7. Rembesan (k)

Kemampuan tanah gambut untuk mengalirkan air bergantung pada kandungan bahan mineral, derajat konsolidasi dan derajat dekomposisi, serta nilai angka porinya. Harga koefisien rembesan pada tanah gambut jenuh dapat diukur dilaboratorium dengan test *Variable Head Parameter*. Colley (1950), Miyakawa (1960), Wong, dkk (2013), Harwadi dan Mochtar (2010), serta Yulianto dan Mochtar (2010 & 2012) menyebutkan bahwa koefisien rembesan tanah gambut berkisar antara $10^{-3} - 10^{-6}$ cm/det, tetapi untuk tanah gambut berserat koefisien rembesan horisontalnya lebih besar dari koefisien rembesan arah vertikal. Barry, dkk (1992) melakukan pengujian pemompaan (*permeability pumping test*) pada titik dangkal di hutan riau (jenis gambut H5-H6) dengan nilai rembesan lapangan yang dihasilkan antara 10^{-2} hingga 10^{-4} m/det. Hanrahan (1964) juga melakukan uji konsolidasi pada tanah gambut yang mengakibatkan perubahan nilai angka pori dan koefisien rembesan

(setelah 7 bulan), masing masing dari 12 menjadi 4,5 dan dari $4 \cdot 10^{-4}$ cm/det menjadi $8 \cdot 10^{-4}$ cm/det akibat beban timbunan yang bekerja diatasnya. Hal ini menunjukkan bahwa tanah gambut sangat sensitif terhadap beban yang bekerja serta perubahan angka pori akan merubah nilai koefesien rembesannya.

8. Susut (Sr)

Tanah gambut yang mengering akan menyusut dan mengeras serta tampak kokoh. Hal tersebut terjadi dikarenakan temperatur yang tinggi (musim panas) atau karena terjadinya penurunan muka air tanah yang menyebabkan angka pori yang turun drastis sehingga butiran solidnya mengisi rongga pori yang ditinggalkan air. Colley (1950) melakukan penelitian di laboratorium dan mendapatkan nilai susut tanah gambut dapat mencapai 50% dari volume awal. Tetapi sekali mengalami penyusutan tanah gambut tidak mampu lagi menyerap air seperti pada kondisi awal. Volume air yang terserap hanya berkisar antara 33%-55% dari volume semula (Feustel dan Byers, 1930).

9. Batas Konsistensi

Batas konsistensi (*Atterberg Limits*) merupakan indikator cakupan kadar air tanah yang digambarkan dalam tiga fase, yaitu cair, plastis dan solid. Tanah gambut umumnya tidak mempunyai standart pengujian untuk batas konsistensi. ASTM (1985 dan 1992) dan *Peat Testing Manual* (CNRC, 1979) juga tidak menyebutkan metoda penentuan parameter konsistensi tanah gambut. Adanya kandungan serat pada tanah gambut membuat pengujian batas cair dan batas plastis sulit dilakukan. Untuk gambut tidak berserat mungkin bisa dilakukan dengan metoda yang biasa digunakan untuk tanah lempung meskipun dibeberapa literatur sulit ditemukan. Hal ini disebabkan tanah gambut tidak mempunyai sifat plastis dan plastisitas bukan merupakan parameter yang penting bagi tanah gambut seperti pada tanah lempung.

10. Berat Volume (γ)

Berat volume tanah gambut bergantung pada kadar air dan kadar organikya serta pada umumnya bernilai sangat rendah. Tanah gambut yang terendam air dan mempunyai kadar organik tinggi, berat volumenya hampir sama dengan berat volume air. Tingginya berat volume pada tanah gambut disebabkan adanya kandungan anorganik (MacFarlane, 1969) yang terkandung pada

butiran tanah gambut. Hasil pengamatan yang dilakukan beberapa peneliti dan dirangkum oleh MacFarlane (1969) menunjukkan bahwa harga berat volume tanah gambut berkisar antara $0,9 \text{ t/m}^3$ sampai dengan $1,25 \text{ t/m}^3$. Sedangkan untuk gambut tropis, Mochtar (1991, 1998, 1999 dan 2000), Duraisamy (2008), Wong, dkk (2013), Harwadi dan Mochtar, (2010) serta Yulianto dan Mochtar, (2010 dan 2012) menyatakan harga berat volumenya berkisar antara $0,96 \text{ t/m}^3 - 1,04 \text{ t/m}^3$.

2.3.2 Sifat Teknis Tanah Gambut

Sifat teknis merupakan hal yang penting dalam perencanaan suatu bangunan sipil yang berada diatas tanah gambut. Seperti halnya tanah anorganik lainnya, perhitungan daya dukung dan kemampumampatan tanah gambut sangat diperlukan untuk menentukan metoda yang tepat agar tanah gambut tersebut mampu dengan baik menopang bangunan sipil diatasnya. Parameter parameter yang dapat memberikan gambaran teknis bagi tanah gambut meliputi kekuatan geser, kemampumampatan dan tekanan tanah kesamping kondisi diam (*at rest*).

1. Kuat Geser

Tanah gambut yang mempunyai kandungan organik besar merupakan *frictional material/non cohesive material* (Adam, 1965), sehingga tanah gambut tidak mempunyai nilai kohesi seperti halnya tanah lempung. Kekuatan geser gambut dapat dihitung berdasarkan persamaan :

$$\tau_f = \sigma \tan \varphi_u \quad \text{atau} \quad \tau'_f = \sigma' \tan \varphi' / \tau_f = C + \sigma \tan \varphi_u$$

dengan :

τ_f = Kekuatan geser tanah

τ'_f = Kekuatan geser efektif

σ = Tegangan tanah

σ' = Tegangan efektif tanah

φ_u = Sudut geser dalam *undrained*.

φ' = Sudut geser dalam efektif

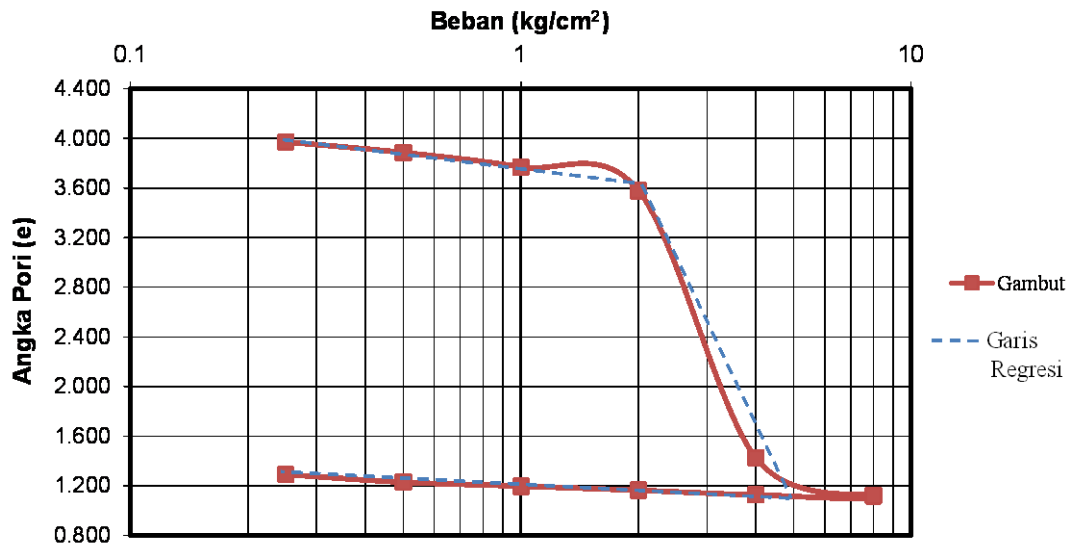
Dari beberapa penelitian yang dilakukan menyebutkan bahwa harga ϕ_u dan ϕ' untuk tanah gambut lebih tinggi jika dibandingkan tanah anorganik yaitu sekitar 50° . Landva (1982) menyatakan bahwa harga sudut geser dalam untuk tanah gambut berserat berkisar pada nilai $27^\circ - 32^\circ$ dengan rentang beban 3 sampai 50 kPa. Harga sudut geser dalam yang tinggi kemungkinan disebabkan oleh kandungan serat pada tanah gambut. Anderson dan Hemstock (1959) melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh kadar air terhadap kekuatan tanah gambut dengan menggunakan *vane shear*; Hasilnya menunjukkan bahwa semakin besar kadar air gambut semakin kecil kekuatannya.

Tetapi untuk tanah gambut yang terganggu kekuatannya jauh berkurang (sekitar 50%) jika dibandingkan tanah tak terganggu (Anderson dan Hamstock, 1959). Kekuatan tanah gambut terganggu juga berkurang apabila kadar airnya semakin tinggi; namun perubahan tersebut sangat kecil jika dibandingkan dengan gambut tak terganggu (*undisturbed*). Yulianto dan Mochtar (2010) dan Kusumawardani dan Mochtar (2012) melakukan pengujian kuat geser tanah gambut berserat di laboratorium dengan menggunakan uji geser langsung. Dari hasil pengujian tersebut diketahui bahwa nilai sudut geser dalam tanah gambut berserat sangat bervariasi yaitu antara 20° sampai dengan 40° ; Sedangkan pengujian lapangan dengan menggunakan *vane shear* untuk 3 titik berbeda didapatkan nilai tiga nilai yang berbeda pula. Hal ini menunjukkan bahwa sudut geser dalam tanah gambut berserat sangat dipengaruhi kadar seratnya.

2. Kemampumampatan (ϵ)

Tanah gambut mempunyai sifat yang mudah memampat apabila terdapat beban yang bekerja. Pemampatan yang terjadi pada tanah gambut sangat (*High Compressibility*); Hal ini disebabkan tanah gambut mempunyai angka pori yang besar. Tanah gambut tak berserat memiliki perilaku pemampatan menyerupai tanah lempung; Namun perilaku pemampatan tanah gambut berserat sangat berbeda dengan tanah lempung. Hal ini ditunjukkan oleh kurva pemampatan (e vs $\log t$) tanah gambut berserat (Gambar 2.4) yang merupakan hasil uji laboratorium dengan metode Terzaghi (1925). Kurva pemampatan tersebut memiliki 2 garis patah sehingga indeks kompresi yang diperlukan

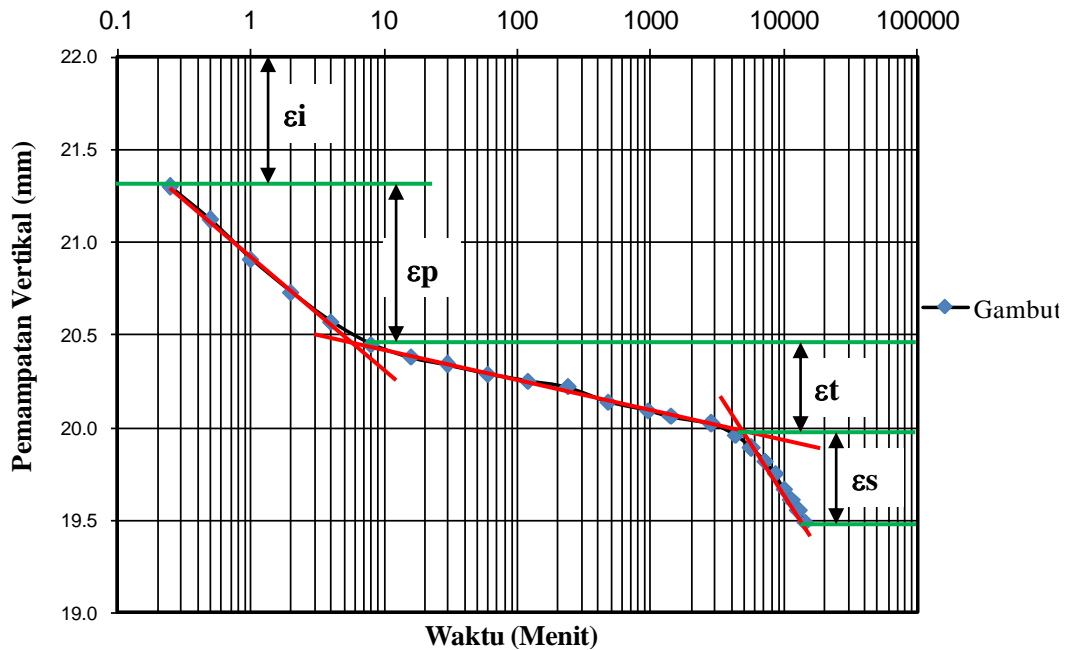
untuk memprakirakan besar pemampatan dilapangan tidak dapat diperoleh jika menggunakan metode Terzaghi.



Gambar 2.4. Grafik pemampatan (e vs $\log t$) hasil uji konsolidasi metode Terzaghi dari tanah gambut berserat (Yulianto, 2010).

Tanah gambut berserat memiliki empat komponen regangan, yaitu regangan langsung, regangan primer, regangan sekunder dan regangan tersier seperti pada Gambar 2.5 (Dhowian, dkk 1980, Mochtar, dkk 1991, 1999, 2000, Yulianto dan Mochtar, 2010). Pemampatan primer merupakan proses keluarnya air dari makropori yang terjadi dalam waktu yang singkat. Sedangkan pemampatan sekunder terjadi dalam waktu yang cukup lama dengan kecepatan cukup besar dan merupakan proses keluarnya air dari mikropori ke makropori; dan pemampatan tersier merupakan pemampatan yang diakibatkan oleh dekomposisi serat tanah gambut.

Dari grafik pemampatan tersebut terlihat bahwa pemampatan tanah gambut berserat sangat berbeda dengan tanah lempung sehingga persamaan untuk menentukan besar pemampatan tanah lempung berdasarkan persamaan Terzaghi (1925) dan Buisman (1936) tidak dapat diterapkan pada tanah gambut berserat.



Gambar 2.5 Kurva Hubungan Δh vs $\log t$ pada tanah gambut dengan beban 50 kPa (Yulianto dan Mochtar, 2010)

Berdasarkan hal tersebut, Gibson dan Lo (1961) serta Dhowian dan Edil (1979) memberikan suatu metode untuk menghitung besarnya pemampatan tanah gambut berserat dengan pembebanan 1 tahap dengan waktu pembebanan selama 14 hari. Besarnya regangan (*strain*) yang terjadi pada tanah gambut berserat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\varepsilon_t(t - t_k) = \Delta\sigma[a + b(1 - e^{-\frac{\lambda_1}{b}t_k}) + b_1(1 - e^{-\frac{\lambda_1}{b_1}(t-t_k)})]$$

dengan :

- ε_t : Regangan pada waktu t
- t : Waktu Pembebanan (menit)
- t_k : Waktu pemampatan tersier (menit)
- $\Delta\sigma'$: Penambahan beban efektif (kPa)
- e : Angka pori tanah gambut
- a : Parameter pemampatan primer
- b : Parameter pemampatan sekunder
- b_1 : Parameter pemampatan tersier
- λ_1/b_1 : Faktor kecepatan pemampatan sekunder (1/menit)

3. Koefisien Tekanan Tanah Saat Diam (at Rest/ k_0)

Penentuan harga K_0 untuk tanah lempung dapat ditentukan secara empiris dengan persamaan Brooker (1965) yaitu : $K_0 = 0,95 - \sin \phi'$ dan persamaan Abdelhamid (1976), yaitu : $K_0 = 1 - 1,2 \cdot \sin \phi'$. Harga K_0 untuk tanah gambut dari penelitian yang dilakukan Dhowian dan Edil (1981) dan Mochtar, dkk (1998) menunjukkan bahwa, harga K_0 untuk tanah gambut selalu lebih kecil daripada tanah lempung. Harga K_0 gambut tidak berserat lebih tinggi dibandingkan gambut berserat. Adam (1961) menyatakan bahwa nilai K_0 terbesar pada tanah gambut sebesar 0,5 tetapi nilai K_0 akan terus menurun mencapai harga 0,175 apabila beban konsolidasi bertambah.

2.4 Metode Perbaikan Tanah

Metode perbaikan tanah merupakan suatu cara yang bertujuan untuk meningkatkan daya dukung tanah lunak (*Soft soil*) agar mampu menahan beban yang bekerja di atasnya. Metode perbaikan tanah yang sering digunakan saat ini dikelompokkan dalam 3 (tiga) jenis, yaitu :

- a. Metode Stabilisasi
- b. Metode Mekanis
- c. Metode Fisik

Pemilihan metode tersebut untuk diaplikasikan dilapangan bergantung pada teknologi yang dapat digunakan dilapangan pada lokasi perbaikan tanah, kondisi yang ada di lokasi perbaikan tanah serta nilai ekonomis dari metode perbaikan tanah yang akan diterapkan.

Berbeda dengan tanah lempung (Tanah Anorganik), metode perbaikan tanah yang digunakan untuk meningkatkan kekuatan tanah gambut (*peat soil improvement*) secara umum dikelompokkan dalam 2 (dua) kelompok, yaitu metode mekanis dan metode stabilisasi; Namun yang perlu diperhatikan dalam memilih metode perbaikan tanah gambut adalah :

- a. Ketebalan lapisan tanah gambut dan lapisan tanah dibawahnya (Tabel 2.4.)
- b. Jenis tanah gambut : : gambut berserat atau tidak berserat
- c. Besarnya pemampatan yang harus ditanggulangi.

2.4.1 Metode Stabilisasi

Metode perbaikan tanah dengan cara mencampurkan bahan kimia ke dalam tanah yang bertujuan untuk meningkatkan sifat fisik dan teknisnya dikenal sebagai metode stabilisasi. Metode stabilisasi ini banyak diterapkan pada tanah lempung yang mempunyai daya dukung rendah ataupun tanah lempung dengan nilai plastisitas tinggi (*Expasive Soil*). Material stabilisasi yang sering digunakan diantaranya adalah kapur hidup CaO (*Quick Lime*), kapur padam Ca(OH)_2 (*Calsium Hydroxide*), abu sekam padi, semen dan abu terbang (*Fly Ash*). Pertimbangan yang perlu dilakukan dalam memilih material stabilisasi adalah :

- a. Jenis tanah yang akan distabilisasi
- b. Jenis struktur yang akan didukung tanah yang distabilisasi
- c. Kekuatan tanah yang harus dicapai
- d. Metode stabilisasi yang akan diterapkan
- e. Kondisi lingkungan dan pengaruhnya
- f. Besarnya dana yang digunakan

Berdasarkan pertimbangan tersebut, maka sangat dimungkinkan material stbilisasi yang digunakan tidak hanya satu jenis material saja akan tetapi merupakan campuran atau kombinasi dari beberapa material stabilisasi yang tersedia.

1. Kapur

Kapur merupakan material stabilisasi yang telah lama digunakan untuk meningkatkan daya dukung pada tanah lempung lunak (*Soft Soil*) maupun menurunkan indeks plastisitas pada tanah mengembang (*Expansive Soil*), bahkan pada tahun 1976 telah diterbitkan System Indeks Stabilisasi (David, 1976) yang menentukan syarat bagi tanah yang memenuhi syarat untuk distabilisasi dengan kapur (Little, 2000). Bowles (1997) juga menyatakan bahwa penambahan kapur sebesar 2-4% dari volume lempung yang akan distabilisasi akan menurunkan nilai indeks plastisitasnya. Di Indonesia standart stabilisasi tanah dengan kapur telah dituangkan dalam SNI 03-3437-1994 tentang stabilisasi tanah dengan kapur untuk jalan raya serta SNI 03-4147-1996 tentang spesifikasi kapur yang memenuhi syarat untuk bahan stabilisasi tanah lempung.

a. Persyaratan Kapur Untuk Stabilisasi

Kapur yang baik digunakan untuk stabilisasi tanah adalah kapur kapur hidup CaO (*Quick Lime*) yang merupakan hasil pembakaran dari batu kapur dengan komposisi sebagian besar adalah kalsium karbonat (CaCO_3) dan kapur padam Ca(OH)_2 (*Calcium Hydroxide*) yang merupakan hasil reaksi kapur hidup dengan air. Kapur tersebut terbagi atas dua tipe, yaitu tipe I dan tipe II serta dikelompokkan masing masing tipe tersebut dalam 3 (tiga) kelas, yaitu kelas A, kelas B dan kelas C. Kapur tipe I adalah kapur yang mengandung kalsium hidrat tinggi; dengan kadar Magnesium Oksida (MgO) paling tinggi 4% berat, sedangkan kapur tipe II adalah kapur Magnesium atau Dolomit yang mengandung Magnesium Oksida lebih dari 4% dan paling tinggi 36% berat (SNI 03-4147-1996).

Kapur sebagai bahan stabilisasi tanah juga harus berbentuk butiran halus atau berupa *slurry* (NLA, 2004), meskipun kapur yang berbentuk *slurry* lebih mahal dalam pelaksanaannya dan kurang baik untuk tanah yang sangat basah (NLA, 2004). SNI mensyaratkan besarnya ukuran butir untuk kapur yang layak sebagai bahan stabilisasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel.2.5.

Tabel 2.5. Ukuran Butiran Maksimum Untuk Kapur Jenis A, B dan C.

| No | Bahan | Kelas | | |
|----|---|-------|-----|-----|
| | | A | B | C |
| 1 | Butiran kapur yang tertahan di atas saringan Nomor 30 (0,60 mm) | 2% | 3% | 4% |
| 2 | Butiran kapur yang tertahan di atas saringan Nomor 200 (0,075 mm) | 12% | 14% | 18% |

(Sumber :SNI 03-4147-1996)

Sedangkan persyaratan kimia yang harus dipenuhi sebagai bahan stabilisasi tanah ditunjukkan pada Tabel 2.6a dan 2.6b. Persyaratan tersebut ditujukan agar terjadi reaksi kimia antara kapur (CaO atau Ca(OH)_2) dengan tanah untuk membentuk *Calcium Silica Hydrates* (CSH) dan *Calcium Aluminate Hydrates* (CAH) yang mampu meningkatkan sifat fisik dan teknis tanah tersebut. Reaksi kimia yang dapat membentuk CSH maupun CAH pada proses stabilisasi tanah tidak akan terbentuk apabila kapur yang digunakan

sebagai bahan stabilisasi adalah kapur pertanian atau CaCO_3 (*Calcium Carbonate*) (Rafalko, 1996; Igles & Metcalf, 1979), tetapi kapur tersebut sangat baik sebagai filler pada tanah dengan nilai pori yang besar (Igles & Metcalf, 1979).

Tabel 2.6a. Persyaratan Kimia Kapur Tipe I.

| No | Senyawa | Kelas | | |
|----|---|-------|-----|-----|
| | | A | B | C |
| 1 | Hydrate Alkalinity $\text{Ca}(\text{OH})_2$, Minimum | 90% | 85% | 75% |
| 2 | Kalsium Oksida Anhidrat (CaO) Maksimum | 7% | 8% | 9% |
| 3 | Kadar Air bebas Maksimum | 3% | 3% | 2% |

(Sumber : SNI 03-4147-1996)

Tabel 2.6b. Persyaratan Kimia Kapur Tipe II.

| No | Senyawa | Kelas | | |
|----|--|-------|-----|-----|
| | | A | B | C |
| 1 | Kalsium oksida + magnesium oksida ($\text{CaO} + \text{MgO}$), Minimum | 98% | 96% | 94% |
| 2 | Karbon dioksida (CO_2), maksimum | 3% | 4% | 8% |
| 3 | Kalsium oksida anhidrat (CaO) maksimum | 7% | 8% | 9% |
| 4 | Kadar air bebas maksimum | 3% | 3% | 2% |

(Sumber : SNI 03-4147-1996)

b. Perencanaan Stabilisasi Dan Prosedur Pengujian

Perencanaan stabilisasi dan pengujian material stabilisasi tanah dengan kapur dilakukan di laboratorium dengan tujuan untuk mengevaluasi apakah tanah tersebut dapat distabilisasi dengan kapur dan untuk menentukan prosentase optimal kapur yang harus ditambahkan untuk mendapatkan kekuatan yang diinginkan dalam jangka waktu yang panjang. Prosedur perencanaan stabilisasi dengan kapur, yaitu :

a. Evaluasi Material Stabilisasi

Evaluasi ini bertujuan untuk mengetahui sifat sifat tanah yang akan distabilisasi untuk menentukan apakah tanah tersebut cocok distabilisasi menggunakan kapur serta untuk menentukan apakah kapur yang akan

digunakan memenuhi persyaratan yang ditentukan menurut SNI03-4147-1996. Prosedur pengujian berdasarkan ASTM C136 dan ASTM D 4318.

b. Menentukan Perkiraan Kapur Yang Dibutuhkan

Penentuan jumlah kapur yang dibutuhkan untuk perancangan campuran dilakukan berdasarkan ASTM D 6276. SNI mensyaratkan minimal 4 (empat) kadar kapur untuk menentukan prosesentase jumlah kapur yang akan digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah (SNI 03-6886-2002).

c. Menentukan OMC Dan MDD

Gambarkan hubungan antara kadar air dengan kepadatan tanah lalu tentukan nilai *Optimum Moisture Content* (OMC) dan *Maximum Dry Density* (MDD) dari masing masing grafik tersebut. Nilai OMC dan MDD yang didapat dari masing masing campuran tersebut digambarkan kembali berupa grafik nilai OMC dan MDD yang diperoleh untuk mendapatkan variasi dari nilai OMC dan MDD.

d. Pengujian UCS

Pengujian *Unconfined Compression Strength* (UCS) dilakukan untuk mengetahui kekuatan masing masing sampel tanah yang telah distabilisasi dengan kapur. Pembuatan sampel dilakukan berdasarkan SNI 03-6887-2002 berdasarkan nilai OMC dan MDD yang didapatkan pada setiap campuran yang telah ditentukan pada langkah sebelumnya (butir a dan b). NLA (2006) mensyaratkan pemeraman sampel sebelum dilakukan pengujian UCS, yaitu untuk admixture berupa kapur Ca(OH)_2 pemeraman dilakukan minimal selama 24 jam, sedangkan untuk admixture berupa CaO pemeraman dilakukan minimal 20-24 jam.

e. Penentuan Prosentase Kapur Untuk Pelaksanaan

Prosentase kapur yang dibutuhkan untuk stabilisasi tanah dilakukan berdasarkan nilai OMC dan MDD serta nilai UCS yang telah dilakukan sebelumnya (butir c dan d). Nilai nilai tersebut dijadikan control pemadatan dan kadar air yang dicampurkan di lapangan.

f. Pelaksanaan Di Lapangan

Peralatan dan mesin yang digunakan untuk stabilisasi tanah dengan kapur di lapangan haruslah dalam kondisi baik atau terkalibrasi untuk mendapatkan

hasil yang baik. Departemen Pekerjaan Umum Bina Marga (2006) menyebutkan bahwa alat yang digunakan untuk pelaksanaan stabilisasi kapur terdiri atas Alat penggembur dan pencampur, alat penghampar, alat penyiram, alat pemadat dan alat bantu lainnya yang dibutuhkan. Pengendalian mutu pelaksanaan di lapangan merupakan hal terpenting untuk mendapatkan hasil yang diinginkan seperti yang telah dilaksanakan di laboratorium. Pengendalian ini mencakup kegiatan penyiapan tanah dasar, pengendalian kadar air, pengendalian pemadatan, perbaikan terhadap lokasi yang tidak sesuai ketentuan serta aspek lingkungan hidup dengan adanya pekerjaan stabilisasi tanah dengan kapur.

2. Stabilisasi Tanah Dengan Material Lain.

Material stabilisasi lainnya yang sering digunakan sebagai bahan aditif untuk perbaikan kualitas tanah antara lain adalah abu sekam padi (*Rice Husk Ash/RHA*) dan abu terbang (*Fly Ash/FA*) serta campuran dari kapur dengan RHA dan kapur dengan FA. Penggunaan RHA dan FA maupun campuran kapur dengan RHA/FA tidak memiliki standart perencanaan campuran di laboratorium maupun pelaksanaannya di lapangan, sehingga penentuan prosentase optimal bahan *admixture* yang harus diberikan berdasarkan penelitian sebelumnya maupun secara coba coba pada penelitian awal.

Abu sekam padi/RHA merupakan hasil pembakaran sekam padi yang mempunyai kandungan silica sekitar 77% (Yulianto dan Mochtar, 2010). Penggunaan RHA maupun campuran RHA+kapur telah banyak diterapkan pada tanah lunak (*soft soil*), tanah mengembang (*Expansive soil*) maupun tanah organik (*gambut/peat*) dengan hasil yang memuaskan. Penggunaan RHA sebagai bahan stabilisasi tanah expansive dilakukan diantaranya oleh Muntohar (2002), Budi, dkk (2002) dan Herina (2005) dengan hasil menurunnya nilai Indeks Plastisitas (PI) tanah *expansive* mencapai 5 dari sebelumnya 42, serta meningkatkan nilai UCS dari 3,55 kg/cm² menjadi 17,28 kg/cm².

Jha dan Gill (2006) dan Alhasan (2008) menjadikan RHA sebagai bahan aditif untuk tanah yang mempunyai kualitas tidak baik (tanah A6 – A7) dengan hasil meningkatnya nilai UCS mencapai 1 MPa dan mengurangi nilai permeabilitasnya, bahkan Huanjing dan Gasaluck, (2010) menggunakan RHA

sebagai *admixture* untuk Loess Soil di Khon Kaen Thailand dengan hasil meningkatnya nilai UCS dan CBR tanah tersebut. Penggunaan RHA sebagai bahan stabilisasi tidak terbatas pada tanah anorganik saja tetapi dapat digunakan sebagai bahan stabilisasi pada tanah organik/gambut dengan hasil yang baik apabila dicampurkan dengan kapur CaCO_3 seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Yulianto dan Mochtar (2010 dan 2012), Harwadi dan Mochtar (2010) serta Kusumawardani dan Mochtar (2012).

Selain abu sekam padi, Fly Ash (FA) merupakan salah satu material yang banyak digunakan sebagai bahan aditif untuk stabilisasi tanah maupun sebagai filler pada beton. FA merupakan limbah pembakaran batu bara yang berupa debu yang mempunyai kandungan silica kurang lebih 43% (Harwadi dan Mochtar, 2010). Triwulan dan Marwan (2007) menggunakan FA sebagai bahan aditif pada beton dengan hasil temperatur hidrasi turun, *setting time* lama, kuat tekan naik 5,7% untuk pasta dan naik 17,5% untuk beton, sebelum ditambahkan FA. Sedangkan Alim, (2000) melakukan solidifikasi terhadap limbah B-3 dengan campuran 50% *fly ash* dan 20% kapur yang merupakan campuran paling optimal, selain itu campuran tersebut dicobakan dengan beton yang meningkatkan nilai kuat tekan dari 10 N/mm² menjadi 10,8 N/mm².

FA juga sangat baik digunakan sebagai bahan stabilisasi pada tanah *expansive* maupun tanah lempung yang mempunyai daya dukung rendah. Abadi (2007), menggunakan campuran 10% *fly ash* untuk stabilisasi tanah *expansive* cikampek dengan hasil kepadatan naik 9,5% dan kuat tekan naik 92% dalam kondisi basah. Sedangkan Utomo dan Gunawan (2008), menggunakan campuran 60% *fly ash* yang merupakan campuran paling optimal untuk *embankment* dimana nilai PI turun dari 29,22 ke 16,51, Sedangkan untuk campuran 70% *fly ash* dan 30% lempung dapat menaikkan nilai UCS dari 2,76 ke 11,34.

3. Stabilisasi Tanah Gambut

Metode stabilisasi pada tanah gambut dilakukan dengan cara mencampurkan bahan *admixture* pada tanah gambut dengan tujuan untuk meningkatkan daya dukungnya dan mengurangi pemampatan yang terjadi pada tanah gambut akibat beban yang bekerja di atasnya. Bahan stabilisasi yang banyak digunakan dalam stabilisasi tanah gambut adalah semen, abu terbang (*fly ash*),

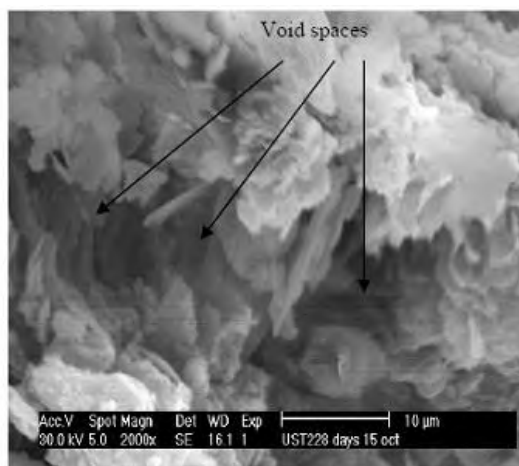
kapur, *Blast Furnace*, sisa produksi sulfur serta abu sekam padi. Beberapa penelitian stabilisasi tanah gambut skala laboratorium masih terus dilakukan, meskipun ada sebagian yang telah diterapkan di lapangan dengan metode *Deep Soil Mixing* (DSM).

a. Penelitian Laboratorium

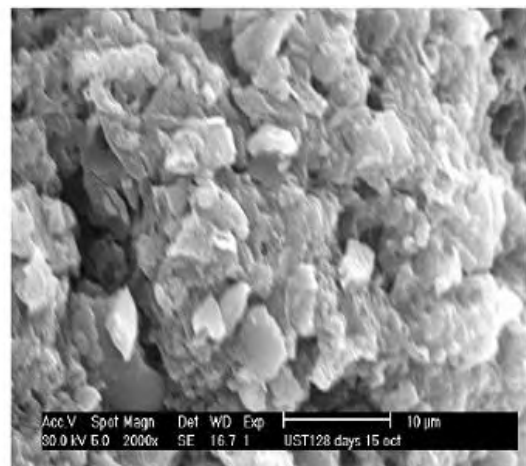
Stabilisasi tanah gambut di laboratorium yang dilakukan selama ini dapat meningkatkan sifat fisik tanah gambut serta menaikkan daya dukungnya dan menurunkan besar pemampatan yang terjadi akibat beban yang bekerja. Beberapa penelitian stabilisasi tanah gambut yang dilakukan di laboratorium menggunakan bahan *admixture* berupa, semen, *fly ash*, *gypsum*, kapur, *carbide lime*, *class pond F*, dan abu sekam padi serta *admixture* yang merupakan campuran dari *admixture* *admixture* tersebut.

Stabilisasi tanah gambut dengan semen telah banyak diterapkan dengan cara mencampurkan langsung dengan tanah gambut seperti yang dilakukan oleh Hebib dan Farrel (2003), Huat, dkk (2008), Ilyas, dkk (2008) maupun dengan membentuk semen kolom pada tanah gambut (Duraissamy, 2008). Hasil stabilisasi yang dilakukan menunjukkan sifat fisik tanah gambut meningkat berupa menurunnya kadar air, meningkatnya berat volume kering (γ_d), dan keasaman berkurang menuju ke arah basa. Tanah gambut yang distabilisasi juga menunjukkan daya dukung yang semakin baik mencapai 160 kN/m² (Huat, dkk 2008) dan menurunkan besar pemampatan yang ditandai dengan semakin kecilnya angka pori tanah gambut yang distabilisasi sebagai akibat terisinya pori gambut oleh bahan stabilisasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6.

Sedangkan penggunaan semen kolom pada tanah gambut menunjukkan bahwa semakin besar diameter kolom maka pengurangan pemampatan yang terjadi cukup besar pula; Selain itu, semakin banyak kolom yang bekerja pada kelompok kolom akan meningkatkan daya dukungnya. Akan tetapi, penggunaan semen pada tanah gambut dengan nilai keasaman yang tinggi akan mengakibatkan butiran solid yang terbentuk sebagai reaksi semen akan keropos pada waktu yang lama karena gambut bersifat korosif (Mochtar, 2002).



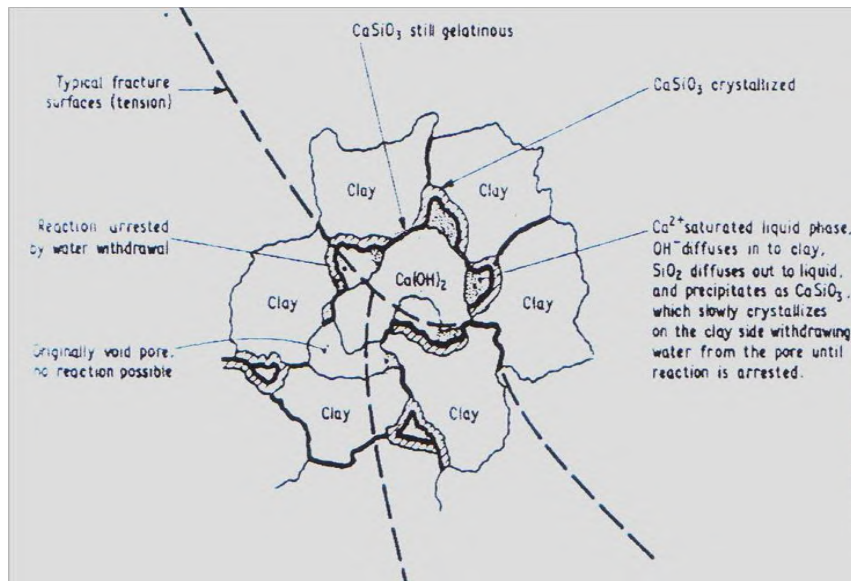
(a) Foto SEM untuk tanah gambut kondisi awal



(b) Foto SEM pada gambut yang telah distabilisasi dengan kapur

Gambar 2.6. Foto SEM pembesaran 200 kali pada tanah gambut dengan dua kondisi (Sumber : Hisyam dan Islam, 2009)

Sama halnya dengan stabilisasi yang menggunakan semen, stabilisasi tanah gambut dengan mencampurkan kapur maupun kapur+pozzolan lainnya memberikan peningkatan sifat fisik dan sifat teknisnya seperti yang dilakukan oleh Huat,dkk (2005) dan Said (2009). Kapur yang digunakan untuk material stabilisasi adalah kapur hidup (*Quick Lime*) CaO atau kapur hidup (*Dihydroxide Calsium*) $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Yulianto dan Mochtar (2010 dan 2012) serta Kusumawardani dan Mochtar (2012) melakukan stabilisasi terhadap tanah gambut berserat dengan menggunakan produk samping dari industri pupuk yaitu kapur CaCO_3 (*Calsium Carbonate*) yang dicampur dengan produk samping pembuatan batu bata yaitu abu sekam padi (*Rice Husk Ash/RHA*). Penggunaan RHA yang mengandung silika tinggi pada tanah gambut yang merupakan *uncohesive soil* akan membuat gambut mempunyai kandungan silika yang akan membentuk *Calsium Silica Hydrate* (CaSiO_3) apabila bereaksi dengan calsium yang berasal dari kapur CaCO_3 seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.7. Selain itu penggunaan kapur CaCO_3 pada stabilisasi gambut sangat tepat karena kapur tersebut mampu berfungsi sebagai pengisi ruang pori pada gambut yang mempunyai pori sangat besar (Igles dan Metcalf, 1979). Hasil penggunaan campuran kapur+RHA pada gambut berserat menunjukkan

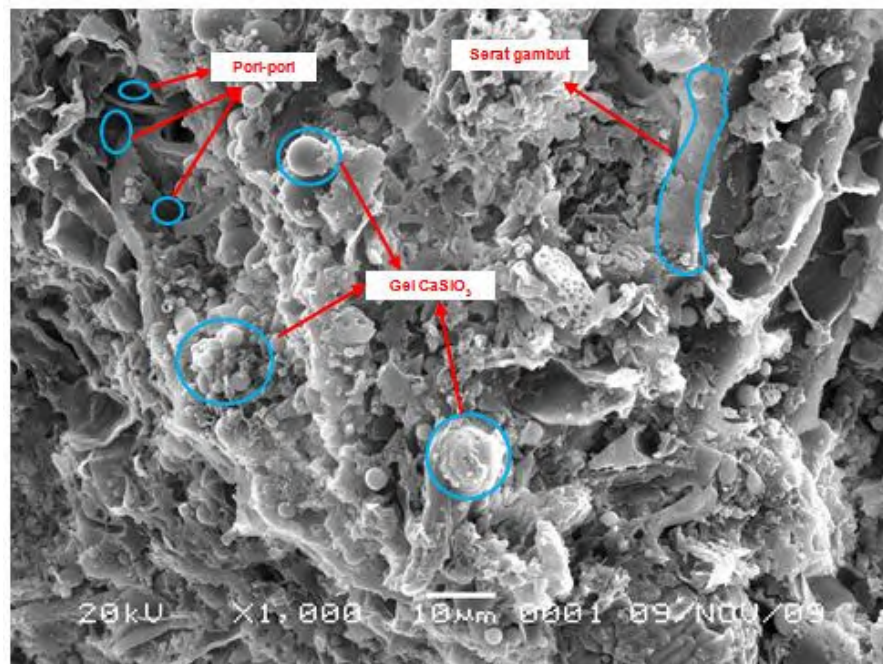


Gambar 2.7 Sketsa dari “*Calcium Silicate Hydrate*” yang mengkristal dan membungkus gumpalan-gumpalan tanah (Ingles dan Metcalf, 1979).

peningkatan sifat fisik tanah gambut yang distabilisasi yang berupa penurunan kadar air, penurunan angka pori dan peningkatan berat volume keringnya sedangkan daya dukung gambut stabilisasi juga meningkat diiringi dengan berkurangnya besar pemampatan yang terjadi.

b. Stabilisasi Tanah Gambut dengan Campuran Kapur+Abu Terbang

Mochtar, N.E. (2009, 2010) telah menggunakan stabiliser yang lebih ramah lingkungan dengan menggunakan campuran produk samping industri pupu PT. Petrokimia Gresik berupa Kapur CaCO_3 dan sisa produksi PTLU Paiton berupa abu terbang. Hasil uji laboratorium menunjukkan bahwa penambahan admixture 10% yang terdiri atas 70% abu terbang+30% kapur CaCO_3 memberikan hasil yang optimal untuk meningkatkan sifat fisik dan teknis tanah gambut berserat dibandingkan admixture lainnya yaitu campuran kapur dengan abu sekam padi. Hal ini disebabkan campuran kapur dan abu terbang yang mempunyai diameter lebih kecil dibandingkan abu sekam padi mempunyai sifat absorpsi yang lebih baik sehingga lebih mampu mengisi pori gambut dan membungkus serat gambut (Gambar 2.8). Tabel 2.7 menunjukkan perubahan parameter tanah gambut berserat untuk usia peram sampai dengan



Gambar 2.8. Foto SEM pembesaran 1000x pada tanah gambut stabilisasi dengan 5% stabilizer dan masa peram 10 hari (Harwadi, 2010)

Tabel. 2.7. Parameter Tanah Gambut yang Distabilisasi 10% Admxiture

| Parameter | | Initial | Usia Peram (hari) | | | | | |
|-----------------------------------|--------------------|---------|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | | 1 | 10 | 20 | 30 | 40 | 80 |
| Spesific Gravity (Gs) | - | 1.51 | 1.94 | 2.09 | 2.20 | 2.28 | 2.31 | 2.32 |
| Kadar Air (wc) | % | 630 | 396.51 | 326.53 | 303.35 | 257.80 | 255.74 | 252.53 |
| Berat Volume Tanah (γ_t) | gr/cm ³ | 0.981 | 1.11 | 1.113 | 1.129 | 1.146 | 1.146 | 1.093 |
| Angka Pori (e) | - | 10.25 | 7.7 | 7.0 | 6.9 | 6.1 | 6.2 | 6.5 |
| Keasaman (pH) | - | 3.2 | 5.95 | 6.5 | 7.29 | 7.29 | 7.29 | 7.29 |
| Kandungan Organik (Oc) | % | 98 | 63 | 64 | 55 | 65 | - | - |
| Kada Abu (Ac) | % | 2 | 37 | 36 | 45 | 35 | - | - |
| Kuat Geser (τ) | kPa | 24.38 | 37.08 | 36.18 | 37.49 | 37.18 | 37.47 | 36.48 |
| Total Pemampatan (Δh) | mm | 5.8 | - | - | 4.86 | 4.1 | 5.25 | 5.25 |

(Sumber : Harwadi, F., 2010)

80 hari. Dari Tabel 2.7 diketahui bahwa ketika kondisi kadar air dalam pori gambut (terutama makro pori) masih cukup pembentukan gel CaSiO_3 berlangsung dengan baik dan memberikan peningkatan sifat fisik dan teknisnya. Namun, ketika kondisi air dalam pori gambut terus berkurang (usia stabilisasi 80 hari) pembentukan gel menjadi melambat dan menyebabkan penurunan parameter gambut yang distabilisasi. Perilaku ini disebabkan oleh

proses dekomposisi serat gambut akibat kondisi air pori yang terus berkurang dan menyusutnya gel yang telah terbentuk menyebabkan porikembali membesar (Igels dan Metcalf, 1979; Huttunen dan Kujala, 1999; Mochtar, NE. Dkk., 2014; Yulianto, FE., dkk., 2014; Yulianto, FE dan Mochtar, NE., 2016)

c. Aplikasi Lapangan

Stabilisasi tanah gambut dengan mencampurkan *admixture* secara langsung dilapangan dengan metode *Deep Soil Mixing* telah diterapkan sejak tahun 70-an di Jepang dan Swedia (Souliman, 2011). Pengembangan dari metode ini telah banyak dilakukan di beberapa negara seperti Amerika, Jerman dan Finlandia dengan beberapa istilah seperti *Deep Mixing* (Terashi, 1997 dan Porbaha, 1998) serta *Mass Soil Stabilization* (Jelusic dan Lappanen, 2001). Metode ini sangat efektif untuk meningkatkan daya dukung tanah gambut yang mempunyai kedalaman tidak lebih dari 6 meter dengan beberapa metode pencampuran dilapangan yang berbeda beda seperti ditunjukkan pada Gambar 2.9 dan Gambar 2.10. Jenis *admixture* yang dicampurkan pada tanah gambut di beberapa negara sangat bervariasi, yaitu *Fly Ash*, *Blast Furnace slag* dan sisa produksi sulfur yang diterapkan pada jalan raya Veittostensuo di tenggara Finlandia pada tahun 1997, Case road No. 601 Sundavagen di Ranea Swedia pada tahun 1995 serta rel kereta api ruas Skyttorp-Orbyhus utara Stockholm (Jelusic, 2001), dengan hasil daya dukung meningkat menjadi 149 kPa dari kondisi awal 5 kPa serta pemampatan yang terjadi hanya sekitar 30 cm selama dua tahun. Selain itu penggunaan metode *Mass Stabilization* di Swedia dan Finlandia dapat menghemat biaya konstruksi lebih dari 70% dibandingkan metode lainnya yang pernah dilaksanakan (Jelusic dan Lappanen, 2001).

Penggunaan *vertical column* (CSV) berdiameter 63 cm pad area $1.5 \times 1.5 \text{ m}^2$ dengan material kapur dan semen-kapur yang dikombinasikan dengan trial embankment yang dilapisi geogrid diterapkan pada lapisan tanah gambut dengan kadar air 330% yang digunakan untuk konstruksi jalan kereta api pada ruas the Buechen-Hamburg dan Paulinenaue-Friesack, Jerman tahun 2003 dengan kecepatan rencana kereta api adalah 230 km/jam (Souliman, 2011). Hanya saja, dalam proyek ini tidak dijelaskan perilaku tanah gambut setelah distabilisasi.



(a) Metode DSM dengan silo yang terpasang jadi satu dengan alat bor



(b) Metode DSM dengan silo yang terpisah dengan alat bor

Gambar 2.9. Metode pelaksanaan *Deep Soil Mixing* (DSM) dengan dua silo yang berbeda (Souliman, 2011)



(a) Metode DJM dengan silo yang terpasang jadi satu dengan alat bor

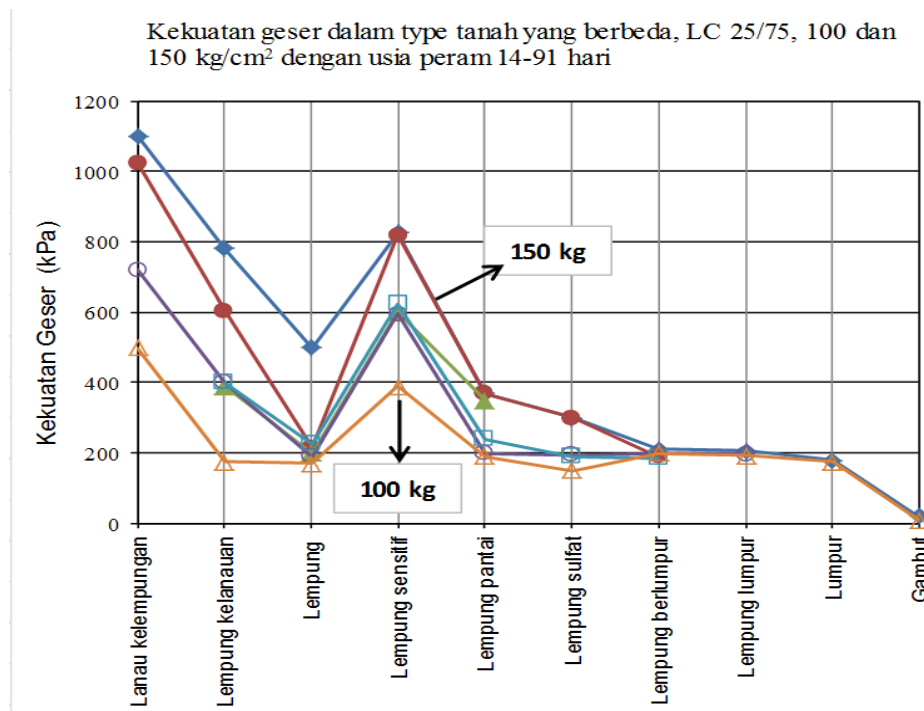


(b) Metode DJM dengan silo yang terpisah dengan alat bor

Gambar 2.10. Metode pelaksanaan *Dry Jet Mixing* (DJM) dengan dua silo yang berbeda (Souliman, 2011)

Stabilisasi tanah gambut dengan metode *Dry Jet Mixing* (DJM) juga dilakukan pada ruas jalan raya yang menghubungkan Tokyo dengan Nagoya, Jepang pada tahun 1994. Material yang digunakan berupa semen yang diinjeksikan pada lapisan tanah gambut yang berat volumenya berkisar $100 - 230 \text{ kg/m}^3$ dengan hasil daya dukung tanah gambut meningkat menjadi 7 kgf/cm^2 setelah stabilisasi. Akan tetapi, penggunaan semen maupun kapur pada tanah gambut

dengan kadar organik dan keasaman yang tinggi tidak dapat menghasilkan kekuatan yang diinginkan disebabkan tanah gambut merupakan tanah dengan kandungan organik yang tinggi. Gambar 2.11 menjelaskan hasil penerapan lapangan oleh Keller Ground Engineering Pty. Ltd (2002) pada berbagai jenis tanah yang distabilisasi dengan campuran kapur dan semen.



Gambar 2.11. Kurva kekuatan beberapa jenis tanah yang distabilisasi dengan DSM (Keller Ground Engineering Pty. Ltd, 2002)

2.4.2 Metode Mekanis

Metode mekanis pada tanah lempung lunak merupakan suatu usaha memberikan energi mekanik dengan tujuan untuk meningkatkan daya dukung suatu tanah, mengurangi pemampatan yang terjadi dan nilai permeabilitasnya, sehingga tanah mampu mendukung beban yang bekerja di atasnya dengan baik. Beberapa metode mekanik yang banyak diaplikasikan antara lain :

- Pemberian beban awal (*preloading*) : metode ini dilakukan dengan memberikan beban agar konsolidasi lebih cepat selesai, Biasanya dilakukan bersama dengan menggunakan PVD dan PHD. Penggunaan pembebanan awal juga bisa diterapkan bersa dengan *Vacuum Consolidation* yang merupakan proses *dewatering* sehingga air pori lebih cepat keluar.

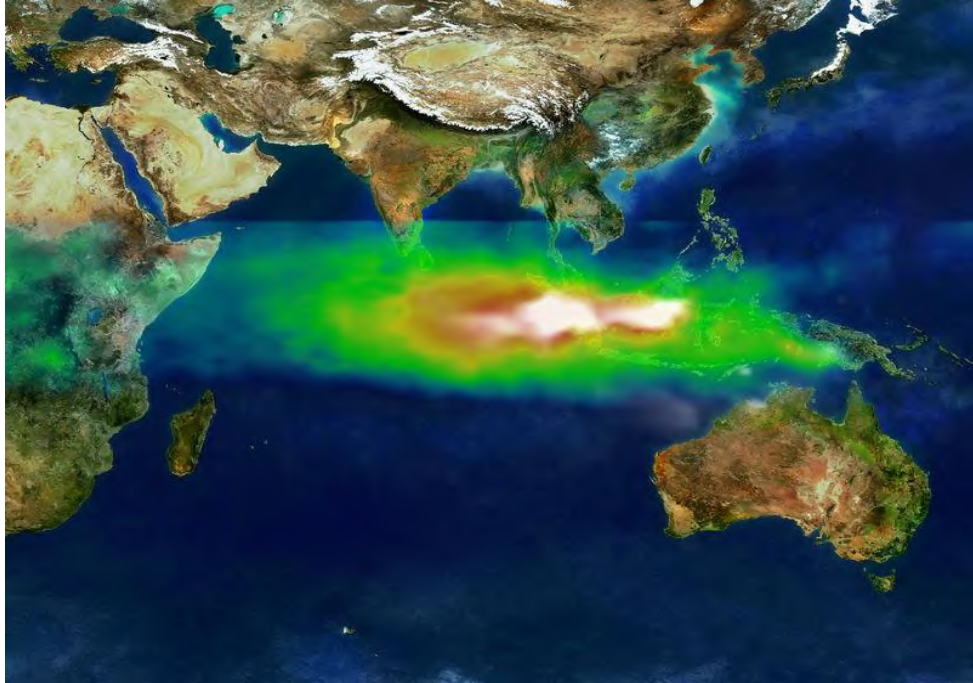
- b. Pemadatan (*Compaction*) merupakan metode yang memberikan beban tertentu pada tanah sehingga pori tanah mengecil. Proses ini dapat dilakukan dengan roller apabila lapisan tanah tidak tebal, menggetarkan tanah (*vibroflotation*) pada jenis tanah granuler dan menjatuhkan beban berat seperti *heavy tamping*.
- c. Pemberian kolom pada tanah lunak berupa stone column dan sand column yang divariasikan dengan pemasangan geostexile, cerucuk kayu atau *micro pile* maupun kolom semen atau kolom kapur.

Penggunaan metode perbaikan tanah cara mekanis yang sering dilakukan dalam perbaikan tanah gambut antara lain penggantian lapisan tanah (*replacement*), memberi beban timbunan/*surchage* (*preloading*) dengan atau tanpa kombinasi dengan lapisan *geosynthetics*, gelar kayu/*corduroy*, penggunaan cerucuk serta kolom pasir/*sand column*. Cara yang paling mudah dan sering dilakukan yaitu dengan mengganti lapisan tanah gambut tersebut jika ketebalan lapisan tanah gambut < 50 cm dan diurug dengan tanah kualitas lebih bagus sehingga mampu memikul beban yang lebih besar dengan pemampatan yang kecil. Metode ini telah banyak diterapkan untuk pekerjaan jalan protokol di kota Palangkaraya pada tahun 2009-2010. Hanya saja metode tersebut memerlukan volume tanah galian yang cukup besar sehingga akan merusak ekosistem lahan di lokasi tambang galian. Selain itu, terjadi pula peningkatan kepadatan lalu lintas dan penurunan kualitas udara yang diakibatkan oleh kendaraan pengangkut material

Metode *replacement* juga memerlukan tempat yang cukup luas untuk menimbun tanah gambut hasil pengupasan lapisan gambut. Disamping itu, tumpukan tanah gambut yang kering akan mudah terbakar sehingga dapat mengakibatkan kebakaran dalam skala lebih besar dan menghasilkan asap yang lebih banyak, serta lebih sulit dipadamkan. Jangkauan asap yang diakibatkan oleh kebakaran lahan gambut di Indonesia ditunjukkan pada Gambar 2.12.

Metode mekanis lainnya, yaitu dengan memberi timbunan/*surchage* (*preloading*) di atas lapisan tanah gambut. Prinsip kerja *preloading* adalah memampatkan lapisan tanah gambut dengan cara memberi beban awal yang berupa *surchage* (timbunan tanah) sebelum pembangunan konstruksi permanen

dilaksanakan; Salah satu contohnya adalah seperti pada proyek rumah dinas Bupati Kabupaten Malinau.



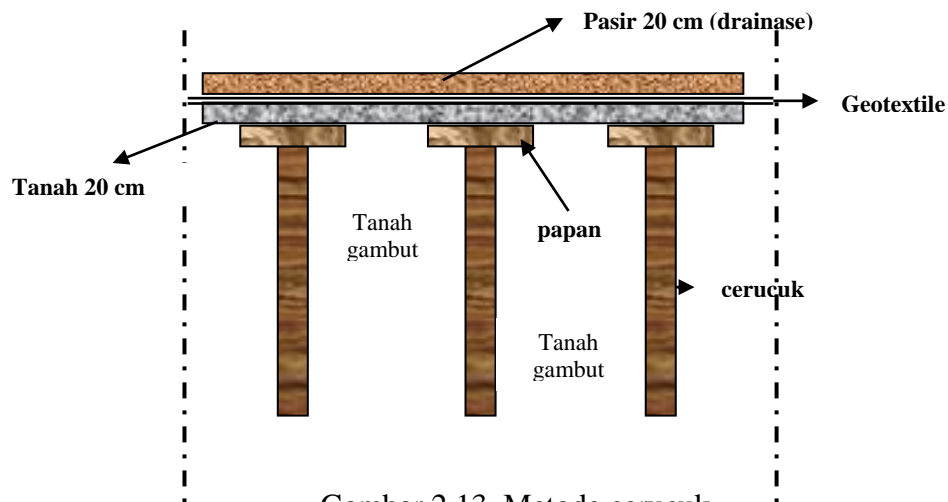
Gambar 2.12. Penyebaran asap akibat kebakaran gambut (wikipedia.com)

Dengan memampatnya lapisan tanah gambut tersebut maka lapisan yang bersangkutan menjadi lebih padat yang berarti kemampuan mendukung beban meningkat dan hampir tidak terjadi lagi pemampatan. Metode ini biasanya dikombinasi dengan pemasangan *geosynthetics* mengingat daya dukung lapisan tanah gambut sangat kecil dan juga untuk menjaga agar tanah timbunan tidak tercampur dengan tanah gambut yang berada dibawahnya

Pemasangan galar kayu atau *corduroy* merupakan metode perbaikan tanah gambut yang dilakukan dengan cara meletakkan satu lapis kayu dengan diameter 8.0 - 10.0 cm melintang jalan. Diatasnya, kemudian diletakkan tanah timbunan sebagai tubuh jalan. Galar kayu berfungsi untuk meningkatkan daya dukung, meratakan penurunan/pemampatan, dan sebagai jalan kerja saat pekerjaan pembuatan tubuh jalan. Metode penghamparan (*matting*) kayu ini banyak diterapkan di daerah Kalimantan Barat seperti jalan Tol Kapuas-Landak, jalan Sungai Durian - Rasu Jaya, dan jalan Naga Kalis – Putussibau (Pasaribu, 1998)

dan akses jalan untuk proyek bandara baru Pontianak. Hanya saja, metode ini tidak mungkin digunakan lagi mengingat membutuhkan kayu dalam jumlah yang sangat besar sehingga akan berdampak pada rusaknya hutan yang ada.

Pemakaian cerucuk atau dolken untuk peningkatan daya dukung lapisan tanah gambut juga telah banyak diimplementasikan di pembangunan jalan di Pontianak, Kalimantan Barat, seperti Pontianak-Supadio Jalur II, jalan Arteri Siantar, dan Arteri Pontianak-Supadio Jalur I (Pasaribu, 1998). Pemasangan cerucuk atau dolken tersebut dimaksudkan untuk membuat lapisan gambut menjadi lebih kaku oleh cerucuk sehingga hampir tidak ada pemampatan di lapisan gambut yang bersangkutan. Disamping itu, cerucuk juga berfungsi meneruskan beban konstruksi ke lapisan tanah yang lebih kuat. Untuk menjaga agar tanah timbunan yang diletakkan di muka tanah tidak bercampur dengan tanah dasar/tanah gambut, dan agar beban timbunan dapat diteruskan secara merata ke lapisan tanah dasar, maka bagian atas cerucuk dipasang papan dengan ukuran 20 cm x 20 cm dan tebal 3 cm; Cerucuk jenis ini dinamakan cerucuk dengan tiang sayap. Cara pemasangan cerucuk bersayap ditunjukkan pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13. Metode cerucuk

Pemasangan kolom-kolom pasir pada lapisan tanah gambut juga merupakan alternatif metode perbaikan yang banyak dipilih. Hal ini dapat dilakukan dengan cara meletakkan pasir di muka tanah gambut setebal ± 1 meter kemudian di tumbuk dengan berat tertentu yang dijatuhkan dari ketinggian tertentu. Jarak kolom pasir dibuat berdasarkan kebutuhan. Dengan metode ini

maka lapisan tanah gambut menjadi padat karena adanya kolom-kolom pasir yang berarti daya dukungnya naik dan pemampatannya juga berkurang secara signifikan. Hanya saja, penggunaan kolom pasir untuk areal yang luas akan menimbulkan kerusakan lingkungan pada tempat penambangan pasir sebagai akibat jumlah pasir yang diambil sangat besar.

2.4.3 Metode Fisik

Metode perbaikan tanah secara fisik adalah suatu cara untuk mengubah sifat sifat tanah dengan memanfaatkan reaksi tanah (Redana, 2011). Metode yang sering diaplikasikan untuk meningkatkan sifat fisik dan teknik tanah antara lain :

- a. Pemanasan (*Heating*) yaitu pemanasan yang dilakukan pada tanah berbutir halus dengan temperatur 400°C sampai dengan 600°C yang menyebabkan perubahan yang bersifat tetap pada mineral tanah lempung sehingga tanah akan bersifat plastis, tidak menyerap air dan tidak mengembang. Cara ini telah berhasil dilakukan di beberapa tempat seperti di Rusia (Lambe, 1962) dan di Rumania (Bales & Stanculescu, 1958).
- b. Metode electro osmosis, metode ini diperkenalkan oleh Casagrande pada tahun 1952 (Redana, 2011). Metode ini memanfaatkan arus listrik yang melewati dua elektrode yang dipasang pada tanah lempung jenuh sehingga kandungan air akan bergerak dari anoda ke katoda yang telah disiapkan sumur (tabung metal) untuk menampung air yang merembes keluar dari pori tanah dan di pompa keluar.

Sedangkan pada tanah gambut metode perbaikan dengan cara fisik masih belum diterapkan.

2.5. Proses Kristalisasi

Kristalisasi adalah terbentuknya fasa padatan kristalin berbentuk tertentu atau spesifik dimana permukaannya berupa kisi kisi (Toyokura, 1982). Kristalisasi terbentuk karena kondisi lewat jenuh untuk suatu larutan dan kondisi lewat dingin untuk suatu cairan. Kristalisasi dapat terbentuk melalui 3 proses, yaitu terbentuknya kondisi lewat jenuh pada suatu larutan, terbentuknya inti Kristal dalam larutan tersebut (*Nucleation*) dan pertumbuhan (*growth*) molekul kristal dari fase *nucleation* hingga mencapai kondisi setimbang (*Equilibrium State*).

Pertumbuhan kristal sangat dipengaruhi oleh konsentrasi larutan (molaritas), suhu, energi yang dipakai dalam tahap pertumbuhan (agitasi) dan tambahan eksternal (*Seeding agent*). Selama proses kristalisasi terjadi perubahan energi potensial ($\Delta\mu$) yang dipengaruhi oleh konstanta Boltzman (k), suhu (T) dan perbandingan antara aktivitas produk (AP) dengan konstanta keseimbangan (K_{eq}), dimana besarnya $\Delta\mu$ dapat diperoleh dari persamaan berikut (Toyukura, 1981) :

$$\Delta\mu = kT \ln \left(\frac{AP}{K_{eq}} \right) \quad (2.1)$$

Sedangkan aktivitas produk saat pengendapan larutan diperoleh dengan perkalian dari seluruh reaktan (Johnson, 1982).

$$AP = [A]^a[B]^b[C]^c \dots [N]^n \quad (2.2)$$

Konstanta keseimbangan (K_{eq}) diperoleh dari perkalian dari semua konsentrasi produk dibagi dengan perkalian semua konsentrasi reaktan berdasarkan persamaan berikut

$$A + B \rightleftharpoons C + D \quad K_{eq} = \frac{[C][D]}{[A][B]} \quad (2.3)$$

dengan $[A]$, $[B]$, $[C]$ dan $[D]$ merupakan nilai molaritas dari larutan terlewat jenuh yang dapat ditentukan dengan

$$\text{Molaritas} = \frac{\text{mol}}{\text{volume}} = \frac{\frac{\text{massa}}{Mr}}{\text{volume}} \quad (2.4)$$

Pemodelan untuk pertumbuhan Kristal dapat diketahui dari persamaan berikut ini :

$$G = \lim_{\Delta L \rightarrow 0} \frac{\Delta L}{\Delta t} = \frac{dL}{dt} \quad (2.5)$$

dengan :

G = Kecepatan pertumbuhan Kristal selama interval waktu (Δt)

ΔL = Pertambahan ukuran (tebal atau panjang karakteristik) Kristal

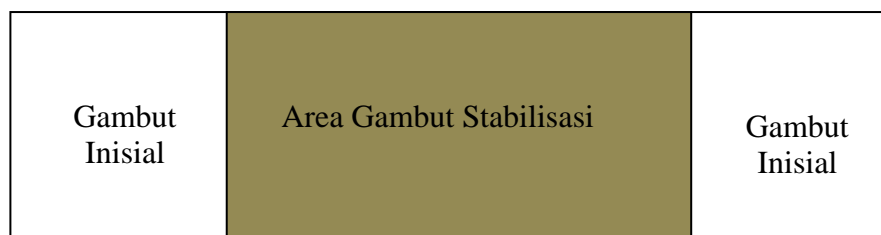
Proses kristalisasi tanah gambut juga dipengaruhi oleh suplai air dalam pori gambut (Huttunen dan Kujala, 1999) sehingga ada proses difusi yaitu perpindahan massa (*transfer mass*) akibat perbedaan konsentrasi larutan. Pada prosesnya kristalisasi yang telah terbentuk terlalu cepat akan mengakibatkan kristal yang terbentuk akan terlarut kembali (terlepas) akibat filtrasi air yang konsentrasinya berbeda dengan sebegininya (Fick, dalam Luknanto, 1992; Toyukura, 1982).

2.6. Pemodelan Numerik

Prediksi numerik dilakukan untuk mengetahui perilaku pertumbuhan kristal gambut (Gel CaSiO_3) berdasarkan fungsi waktu dan jarak area stabilisasi terhadap sumber filtrasi air yaitu gambut yang tidak distabilisasi. Prediksi numerik akan dilakukan dalam 2 (dua) metode, yaitu pemodelan matematika dengan menggunakan beberapa persamaan kendali yang sudah ada dengan mempelajari proses terbentuknya kristal gambut serta interpolasi lagrange dengan memanfaatkan seluruh data model fisik yang sudah tersedia.

2.6.1 Metode Beda Hingga.

Model matematika yang akan dibangun adalah pemodelan aliran fluida melalui media berpori yang terbentuk dari kristal serta rembesan air (*seepage*) pada media berpori. Sedangkan persamaan kendali (*Governing equation*) yang digunakan merupakan pengembangan dari dua model tersebut. Sketsa model gambut stabilisasi akibat pengaruh aliran air pada media berpori di Laboratorium ditunjukkan pada Gambar 2.14, dimana aliran tersebut berpengaruh pada



Gambar 2.14. Sketsa model di laboratorium

perubahan sifat fisik dan teknis gambut yang distabilisasi. Lebar area stabilisasi merupakan variabel yang akan dicari sehingga pengaruh filtrasi air terhadap perubahan parameter sifat fisik dan teknis gambut yang distabilisasi menjadi minimum (Zona Efektif). Berdasarkan perilaku pertumbuhan kristal yang terjadi, beberapa persamaan kendali yang digunakan dalam pemodelan matematika (batasan pemodelannya) adalah sebagai berikut :

1. Hukum Konservasi Massa

Penambahan *admixture* pada stabilisasi tanah gambut akan berakibat adanya proses pembentukan gel CaSiO_3 sehingga ada perubahan massa dari kondisi awal. Apsley (2005) menyatakan perubahan rata-rata massa di dalam volume

kendali ditambah dengan arus massa yang keluar melalui permukaan kendali sama dengan banyaknya massa yang diciptakan dari sumbernya dan dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$\frac{d}{dt}(\text{massa}) + \text{aliran massa keluar} = \text{Sumber massa} \quad (2.6)$$

Karena massa merupakan hasil kali dari massa jenis (ρ) dan volume yang ditempati (\forall); dan aliran massa keluar (flux massa) merupakan fungsi dari ρ (massa jenis), kecepatan (u) dan luas permukaan (A) maka Persamaan (2.6) dapat ditulis dalam bentuk :

$$\frac{d}{dt}(\rho \forall) + \sum_{\text{faces}} \rho u A = S \quad (2.7)$$

Dengan menggunakan teorema pengangkutan Reynold (Aspley,2005), Persamaan (2.7) dapat dinyatakan dalam bentuk diskrit, yaitu :

$$\sum_{\text{face}} \rho u A = (\rho u A)_{\text{out}} - (\rho u A)_{\text{in}} \quad (2.8)$$

2. Hukum Konservasi Momentum

Pembentukan gel CaSiO_3 menyebabkan perubahan pada struktur solid pada tanah. Gel terus tumbuh akibat reaksi kimia yang berarti ada perubahan momentum dalam volume kendali. Apsley (2005) menyatakan bahwa perubahan rata rata momentum di dalam volume kendali ditambah dengan arus momentum yang keluar melalui permukaan kendali sama dengan laju perubahan momentum terhadap waktu. Sehingga persamaan perubahan momentum dapat ditulis dengan :

$$\frac{d}{dt}(\text{massa} \times u) + \sum_{\text{faces}}(\text{aliran massa} \times u) = F \quad (2.9)$$

Karena momentum merupakan perubahan kecepatan (massa x kecepatan) atau dapat dinyatakan dengan notasi $\rho \cdot \forall \cdot u$, dengan u adalah kecepatan, maka momentum flux yang keluar (aliran massa akibat perubahan kecepatan akibat filtrasi air) dapat ditulis, $\rho \cdot u \cdot A \cdot u$, sehingga Persamaan (2.9) berubah menjadi :

$$\frac{d}{dt}(\rho \forall u) + \sum_{\text{face}} \rho u A u = F \quad (2.10)$$

F (*Force*) adalah gaya pada aliran fluida yang terdiri atas dua jenis, yaitu *surface force* (Gaya permukaan) dan *body force* (Gaya massa/gel CaSiO_3). Gaya permukaan meliputi gaya tekan hidrostatik dan viskositas, sedangkan

Gaya massa adalah gaya gravitasi, gaya berat dan gaya gesek antar gel CaSiO_3 (Munson, 2003).

3. Tekanan Fluida (Viskositas)

Perubahan pori yang lebih kecil pada tanah gambut yang distabilisasi (Yulianto dan Mochtar, 2010; 2012) masih memungkinkan air mengisi ruang pori yang kosong diantara butiran solid maupun serat gambut. Kondisi ini menyebabkan tegangan viscositas terjadi dan mempengaruhi laju pertumbuhan gel/kristal CaSiO_3 . Dengan sumbu aliran dalam media berpori adalah laminar, maka Apsley (2005) memberikan persamaan tegangan akibat pengaruh viscositas sebagai berikut :

$$\tau \equiv \tau_{12} = \mu \frac{\partial u}{\partial y} \quad (2.11)$$

Namun karena pertumbuhan kristal kesegala ruang/arah sehingga gesekan fluida dengan kristal dituliskan sebagai berikut :

$$\tau_{ij} = \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (2.12)$$

Sehingga gaya yang dipengaruhi oleh viskositas dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$F = \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) A \quad (2.13)$$

dengan :

μ = viskositas fluida

u = kecepatan aliran

A = luas permukaan

4. Hukum Darcy

Perilaku aliran dalam media berpori tidak bisa dilepaskan dari hukum Darcy (Das, 2002). Debit (Q) aliran dalam suatu media berpori sangat bergantung pada konduktivitas hidrolik (K), luas penampang (A) dan gradient hidrolik (i), sehingga debit aliran dapat dituliskan sebagai berikut :

$$Q = K \cdot i \cdot A \quad (2.14)$$

Persamaan tersebut juga menyatakan bahwa kecepatan aliran fluida untuk suatu luasan penampang tertentu adalah :

$$\frac{Q}{A} = K \cdot \frac{\Delta h}{L} \quad (2.15)$$

Kecepatan aliran dalam media berpori dipengaruhi oleh gravitasi dan massa jenisnya maka persamaan (2.15) dapat ditulis

$$\mu = \frac{K}{\rho \vec{g}} \frac{\rho \vec{g} \Delta h}{L} \quad (2.16)$$

Nilai konduktivitas aliran didefinisikan sebagai

$$K = \frac{k \rho \vec{g}}{\mu} \quad (2.17)$$

dengan k adalah koefisien rembesan intrinsik dan μ adalah viskositas dinamik.

Selanjutnya viscositas dapat dinyatakan dengan :

$$\mu_s = \frac{k}{\mu} \frac{\rho \vec{g} \Delta h}{L} \quad (2.18)$$

dengan :

μ_s = Viscositas dinamik

k = Koefisien rembesan intrinsik

μ = Kecepatan aliran

ρ = Massa Jenis

\vec{g} = Kecepatan gravitasi

Δh = Beda elevasi

L = Panjang media

5. Hukum Fick

Proses pembentukan gel/kristal pada tanah gambut yang distabilisasi dan dipengaruhi oleh filtrasi air dari lingkungan sekitarnya akan menyebabkan perpindahan massa terlarut dalam suatu luasan tertentu (difusi). Fick menyatakan bahwa pada arah tertentu, massa suatu bahan terlarut sebanding dengan gradient konsentrasi bahan terlarut pada arah yang sama (Luknanto, 1992). Untuk proses difusi dalam satu dimensi Fick memberikan model matematika sebagai berikut :

$$q = -D \frac{\partial C}{\partial n} A \quad (2.19)$$

dengan q merupakan flux massa bahan terlarut, C adalah konsentrasi, D adalah koefisien difusi, dan tanda (−) menunjukkan bahan terlarut terangkut dari tempat yang berkonsentrasi tinggi ke tempat berkonsentrasi rendah

6. Metode Beda Hingga (*Finite Difference Method*)

Prinsip metode beda hingga hampir sama dengan skema numerik yang digunakan untuk menyelesaikan persamaan diferensial biasa. Metode ini sering digunakan karena kemudahan dalam mendekati persamaan diferensial parsial (PDP) dengan pendekatan deret Taylor. Domain dibagi dalam ruang dan waktu dan perkiraan dari solusi dihitung pada ruang atau waktu. Penyelesaian metode beda hingga dibagi menjadi dua yaitu eksplisit dan implisit. Konsep dasar dari metoda eksplisit adalah harga variabel pada satu titik level waktu $n + 1$ dapat langsung dihitung dari harga pada beberapa titik pada level n (Hoffman, 1989). Skema yang digunakan dalam penyelesaian numerik dengan metode beda hingga adalah skema maju (*Forward Scheme*) dan skema mundur (*Backward Scheme*).

7. Metode MacCormack

Metode MacCormack merupakan skema diskritisasi yang banyak digunakan untuk penyelesaian solusi numerik dari persamaan diferensial parsial hiperbolik. Metode ini diperkenalkan oleh Robert W. MacCormack (Hoffman, 1969). Penyelesaian solusi numerik dengan metode MacCormack terdiri atas dua tahap penyelesaian, yaitu tahap *prediktor* dan tahap *korektor*.

Untuk lebih memudahkan dalam membangun model pertumbuhan kristal maka asumsi asumsi pemodelan yang dilakukan adalah :

1. Bentuk kristal yang tumbuh adalah kubik (persegi) dengan proses pertumbuhan ke tiga arah yaitu x, y dan z.
2. Bentuk pori gambut diasumsikan berbentuk lingkaran dengan satu jenis pori saja yang dilalui oleh aliran air.
3. Aliran air dalam kondisi stabil dengan jenis aliran laminar

2.6.2. Interpolasi Lagrange

Interpolasi adalah proses menemukan dan mengevaluasi sebuah fungsi yang grafiknya melalui beberapa titik yang sudah diberikan. Selain itu interpolasi lagrange juga dapat digunakan untuk memperkirakan titik selanjutnya berdasarkan data yang ada pada titik sebelumnya (Ekstrapolasi). Kelebihan dari metode Lagrange, adalah :

1. Interpolasi metode Lagrange dapat digunakan untuk menyelesaikan persoalan interpolasi equispaced ($h = \text{konstan}$) atau non equispaced ($h = \text{tidak konstan}$).
2. Metode Lagrange dapat digunakan untuk menyelesaikan kasus interpolasi dan invers interpolasi.
3. Metode Lagrange dapat digunakan untuk mencari nilai fungsi yang variabelnya terletak di daerah awal, akhir maupun tengah.
4. Tidak membutuhkan tabel beda hingga dalam proses penyelesaiannya sehingga penyelesaian persoalan lebih mudah.

Sedangkan kekurangannya adalah jika nilai variable dan nilai fungsi yang ada dalam tabel jumlahnya banyak maka perhitungan dengan persamaan cukup kompleks. Algoritma dari interpolasi Lagrange dapat di susun sebagai berikut :

1. Tentukan jumlah titik (N) yang diketahui
2. Tentukan titik titik $P_i(x_i, y_i)$ yang diketahui dengan $i = 1, 2, 3, \dots, N$
3. Tentukan x dari titik yang dicari.
4. Hitung nilai y dari titik yang dicari dengan formulasi interpolasi Lagrange

$$y = \sum_{i=1}^N y_i \prod_{j=i} \frac{(x-x_j)}{(x_i-x_j)} \quad 2.20$$

5. Tampilkan nilai (x,y)

2.7. Kerangka Kerja Konseptual

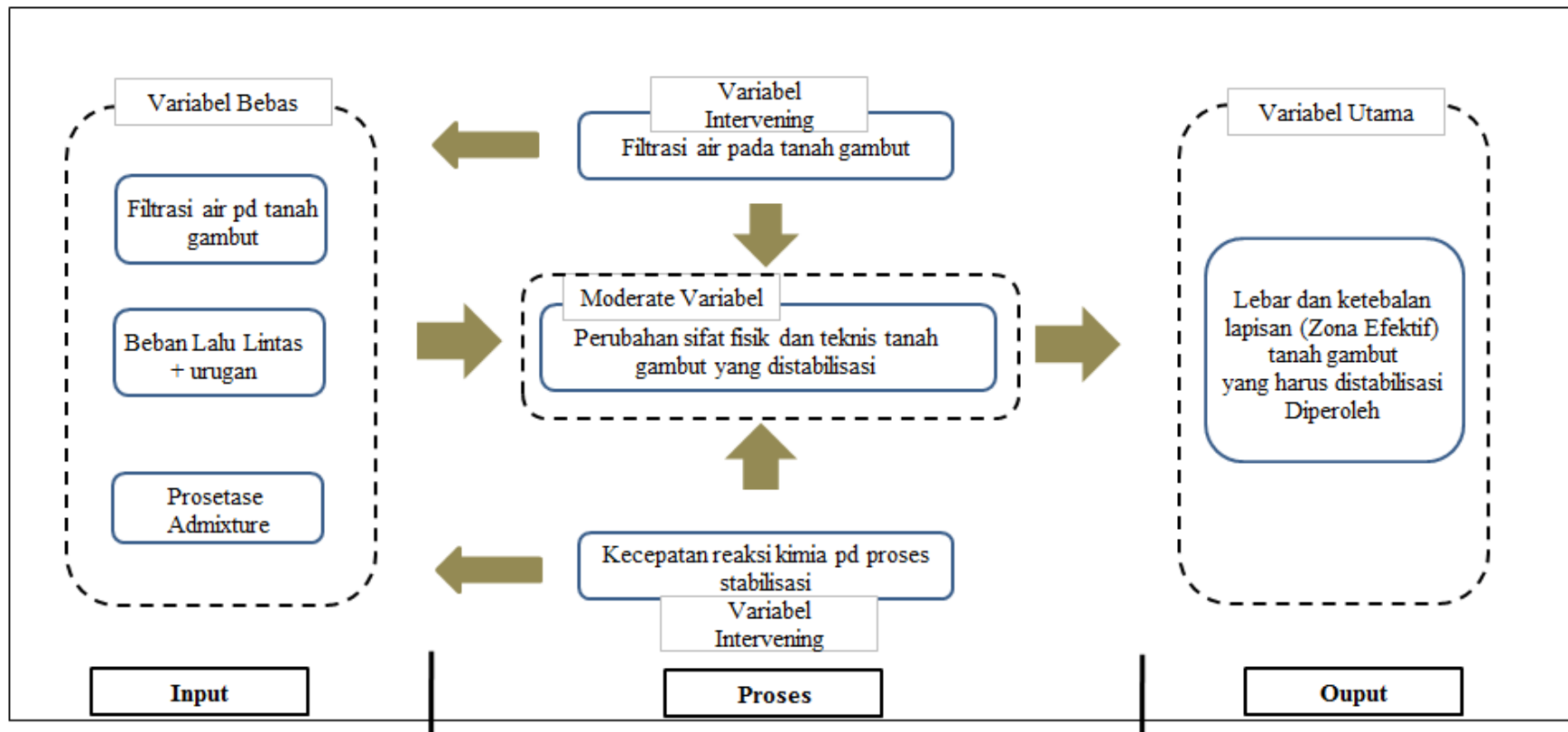
Kerangka kerja konseptual (*Conceptual Frame Work*) merupakan suatu gambaran deskripsi tentang hubungan antar variabel penelitian. Variabel penelitian tersebut terdiri atas :

- a. Variabel utama yaitu variabel yang merupakan tujuan utama atau tujuan akhir dari penelitian yang dilakukan. Variabel ini dipengaruhi oleh variabel variabel yang lain. Dalam penelitian ini yang menjadi variabel utama adalah lebar dan tebal lapisan tanah gambut (Zona Efektif) yang harus distabilisasi sehingga pengaruh filtrasi dari lingkungan sekitar adalah minimum.
- b. Variabel bebas yaitu variabel yang paling berpengaruh terhadap variabel utama dalam penelitian tetapi tidak bergantung pada variabel yang lain. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah filtrasi air, prosentase *admixture* yang

ditambahkan pada tanah gambut dan beban yang bekerja diatas lapisan tanah gambut.

- c. Moderate Variabel merupakan variabel yang memiliki efek kontingen yang kuat pada hubungan variabel bebas dan variabel utama. Perubahan sifat fisik dan teknis pada tanah gambut setelah distabilisasi merupakan variabel moderate dalam penelitian ini. Hal ini disebabkan perubahan sifat fisik dan sifat teknis yang distabilisasi dipengaruhi oleh filtrasi air dan prosentase admixture yang ditambahkan dan mempengaruhi lebar lapisan tanah gambut yang distabilisasi agar mampu mendukung beban yang bekerja diatasnya.
- d. Variabel Intervensi adalah sebagai fungsi dari variabel bebas yang beroperasi dalam situasi apapun, dan membantu membuat konsep dalam menjelaskan pengaruh variabel bebas pada variabel utama dalam penelitian. Waktu filtrasi air pada tanah gambut dan kecepatan reaksi kimia pada proses stabilisasi adalah variabel intervening dalam penelitian ini.

Hubungan antara ke empat variabel tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.15



Gambar 2.15 Hubungan antar variabel dalam penelitian (*Conseptual Frame work*)

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III

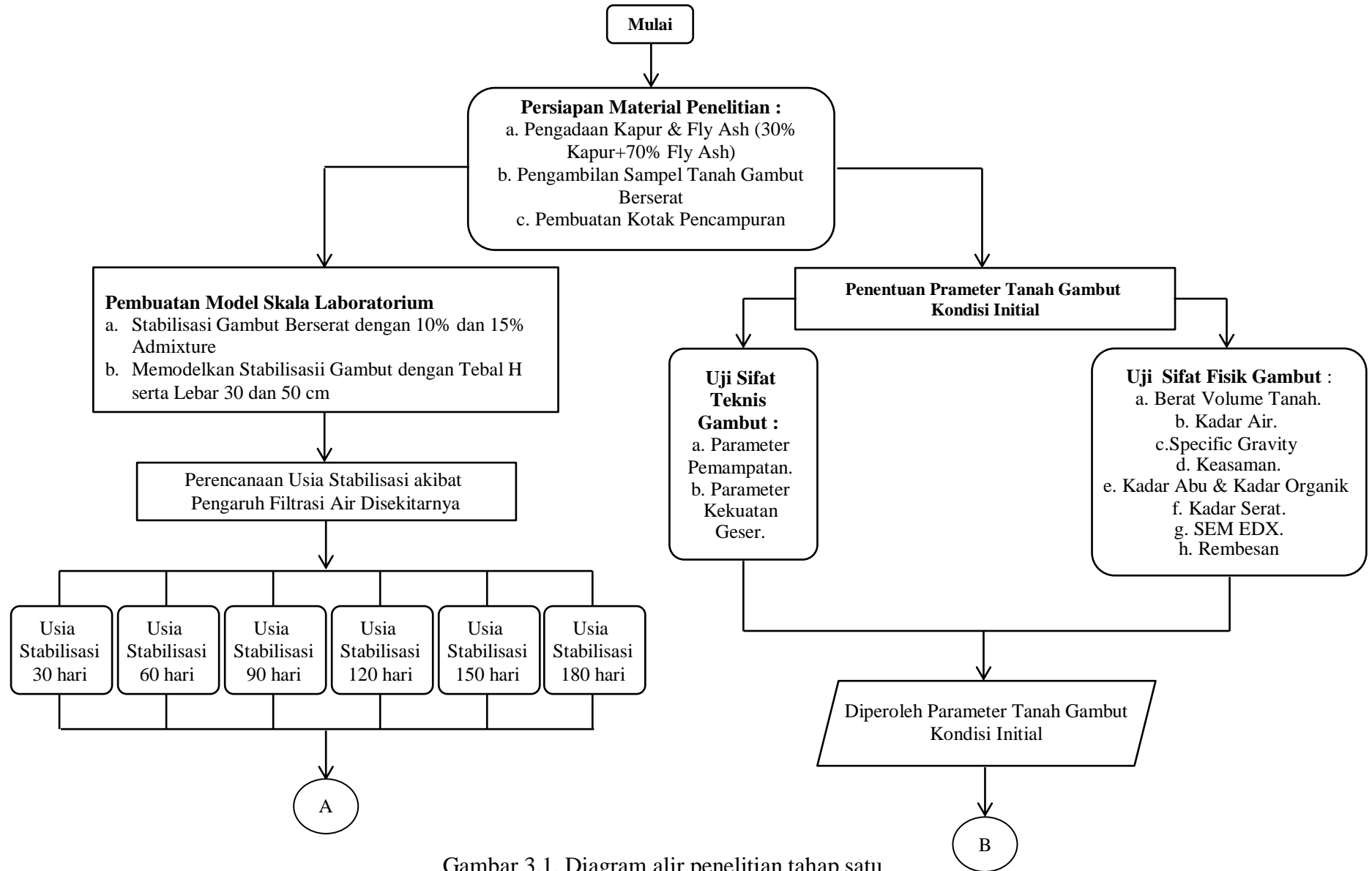
METODE PENELITIAN

Penelitian skala laboratorium yang dilaksanakan ini akan diselesaikan dalam 2 (dua) tahapan. Tahap I akan dilakukan pemodelan fisik laboratorium dengan cara mencampurkan tanah gambut berserat dengan *admixture* untuk ukuran model fisik yang bervariasi. Dari penelitian Tahap I akan diketahui perubahan sifat fisik dan teknis dari tanah gambut berserat yang distabilisasi akibat pengaruh filtrasi air dari lingkungan sekitar tanah gambut yang tidak distabilisasi. Sedangkan kegiatan pada Tahap II adalah membangun model numerik berdasarkan data perubahan sifat fisik dan teknis yang diperoleh pada Tahap I. Hasil yang akan diperoleh dari penelitian Tahap II adalah model numerik yang berguna untuk memprakirakan zona efektif tanah gambut yang harus distabilisasi.

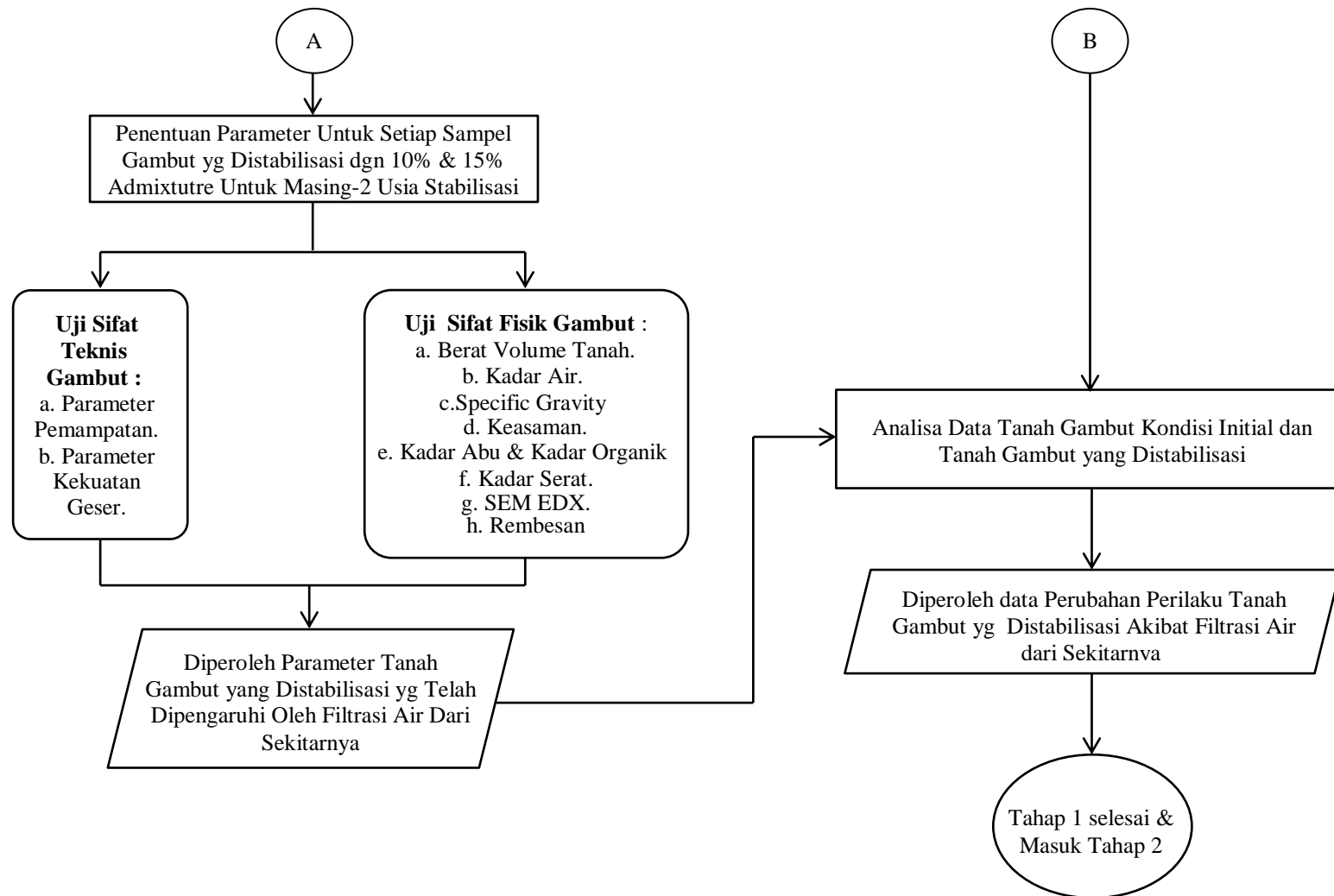
3.1 Penelitian Tahap Satu

Pada penelitian tahap I (satu) ini, kegiatan pembuatan model fisik skala laboratorium dilakukan dengan skala pemodelan 1 : 1000 dan tebal lapisan yang distabilisasi adalah seluruh lapisan gambut. Prosentase *admixture* yang digunakan untuk dicampurkan dengan tanah gambut berserat adalah 10% dan 15% dari γ_t gambut initial (30% kapur + 70% abu terbang). Lebar area yang distabilisasi adalah 30 cm dan 50 cm; area yang distabilisasi tersebut diapit (berada ditengah) gambut initial di kedua sisinya. Uji fisik dan teknis dilakukan pada setiap gambut yang distabilisasi dengan prosentase *admixture* berbeda dan dengan lebar area stabilisasi berbeda; tujuannya adalah untuk mengetahui pengaruh filtrasi air dari lingkungan disekitar zona stabilisasi terhadap tanah gambut berserat yang sudah distabilisasi. Urutan kegiatan dari penelitian tahap I dijelaskan dalam diagram alir pada Gambar 3.1. dan secara detail dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Bahan *admixture* merupakan campuran kapur yang berasal dari sisa produksi PT. Petrokimia Gresik dan Abu terbang yang berasal dari sisa pembakaran batu bara PLTU Paiton Kab. Probolinggo.

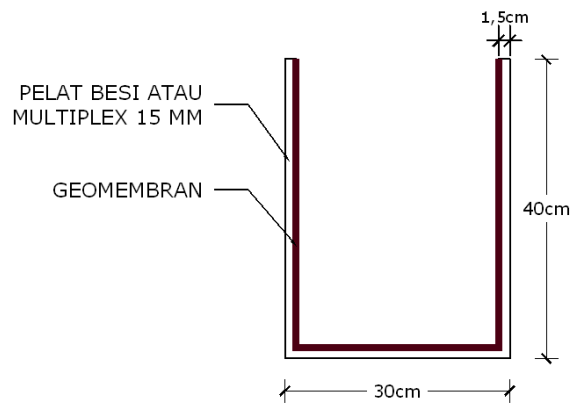


Gambar 3.1. Diagram alir penelitian tahap satu

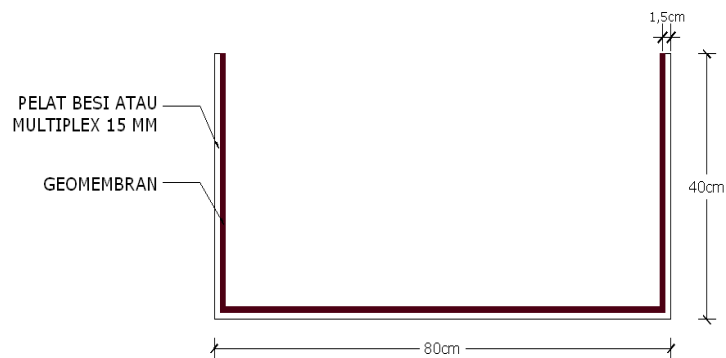


Gambar 3.1. Diagram alir penelitian tahap satu (lanjutan)

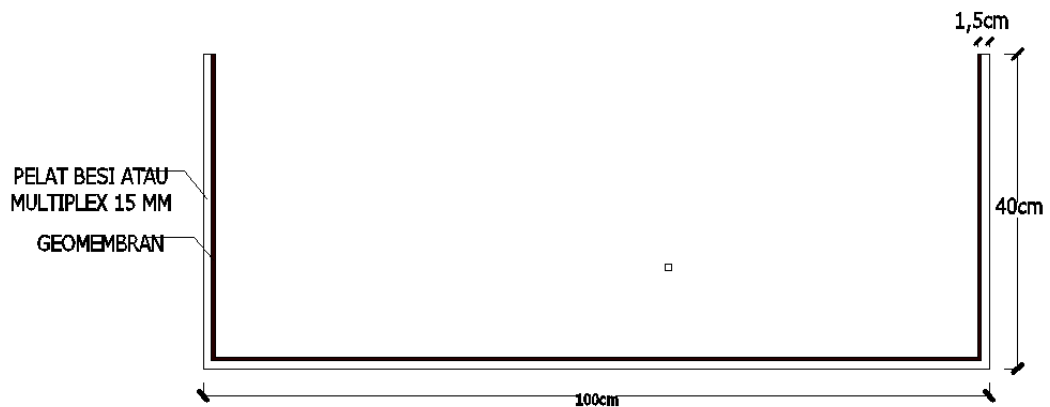
2. Sampel tanah gambut berserat diambil di Desa Bareng Bengkel Palangkaraya Kalimantan Tengah. Jenis sampel yang diambil adalah sampel terganggu dan sampel tidak terganggu. Sampel terganggu diambil pada 3 titik dengan kedalaman 0,50 m, 1.00 m dan 1.50 m, sedangkan sampel tidak terganggu diambil pada minimum 3 titik pada kedalaman yang sama.
3. Kotak pemodelan fisik yang digunakan berupa kotak persegi panjang yang terdiri atas dua jenis, yaitu: kotak pemodelan berdimensi 80x30x40 cm (K-80) dan kotak pemodelan dengan ukuran 100x30x40 cm (K-100) yang terbuat dari multiplek yang dilapisi bahan kedap air seperti pada Gambar 3.2.
4. Pengujian sifat fisik tanah gambut initial dilakukan berdasarkan ASTM dan AASHTO, pengujian sifat fisik yang dilakukan adalah :
 - a. Berat Volume Tanah (γ_t).
 Pengujian berat volume tanah dilakukan dengan menggunakan *sand cone* di lokasi pengambilan sampel di lapangan berdasarkan ASTM D 2937-83 dan AASHTO T 204-64. Pengujian berat volume tanah gambut sulit dilakukan di laboratorium disebabkan kondisi tanah gambut yang sangat cepat berubah dari kondisi awalnya.
 - b. Kadar Air (w_c).
 Pengujian kadar air gambut initial dilakukan berdasarkan ASTM D 2216 – 80 dan British Standard BS 1377 -1975.
 - c. Spesifik Gravity (G_s).
 Nilai G_s tanah gambut initial ditentukan berdasarkan standar pengujian ASTM D 854-83 & British Standard BS 1377-1975, namun air suling yang digunakan diganti dengan kerosin; Hal ini disebabkan berat butiran tanah gambut mempunyai berat volume (γ) yang lebih ringan dari nilai γ air suling.
 - d. Keasaman (pH).
 Pengujian keasaman dilakukan dengan pH meter digital. pH digital dimasukkan dalam tanah gambut dan nilai pH akan diketahui.
 - e. Kadar Abu (AC) & Kadar Organik (Oc).
 Pengujian kadar abu dan kadar organik dapat dilakukan berdasarkan ASTM D 2974-87.



(a) Tampak samping kotak pemodelan K-80 dan K-100



(b) Tampak depan kotak pemodelan K-80 cm



(c) Tampak depan kotak pemodelan K-100

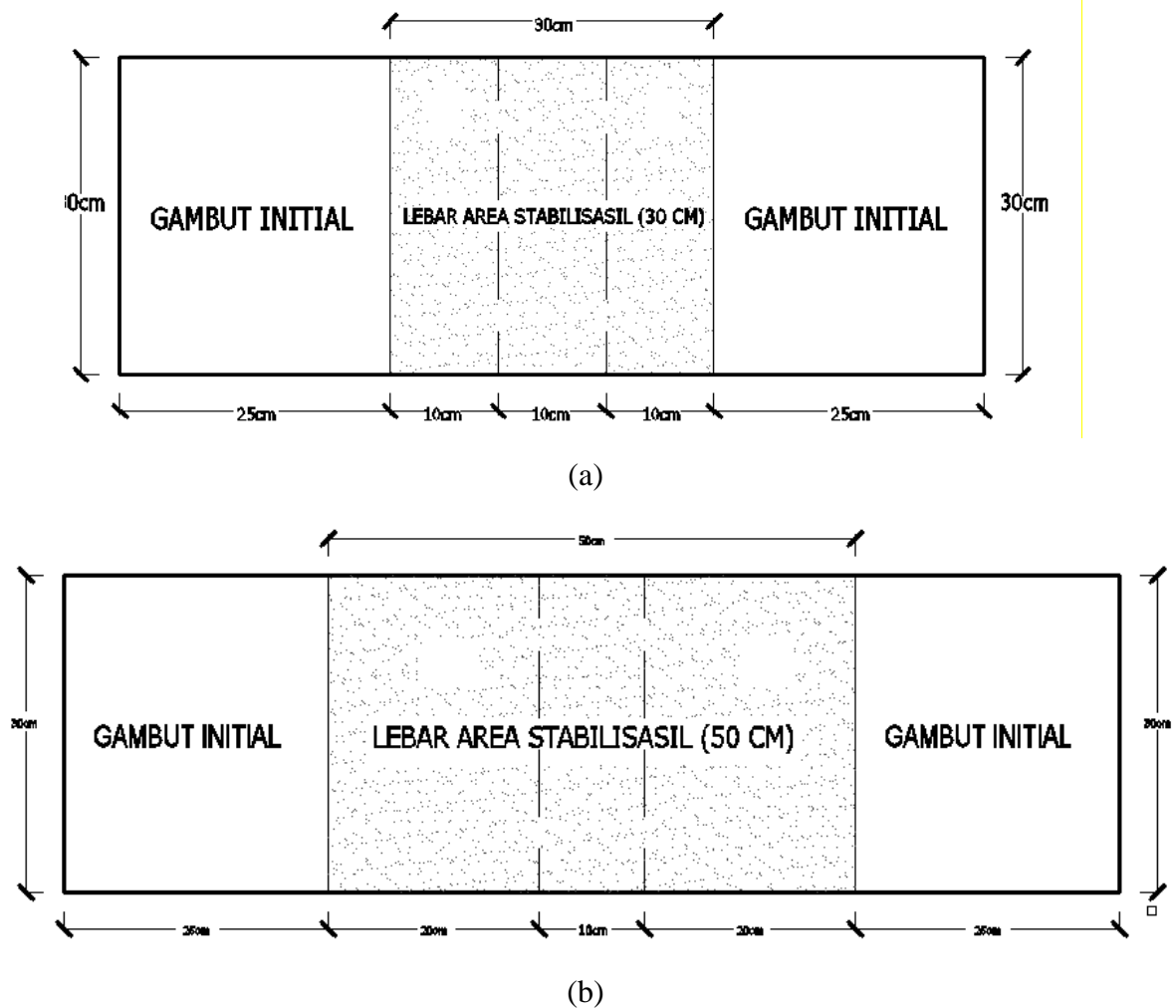
Gambar 3.2 Kotak pemodelan fisik tanah gambut yang distabilisasi dengan *admixture* untuk dua jenis model fisik.

5. Pengujian sifat teknis tanah gambut initial dilakukan dengan uji konsolidasi metode Gibson & Lo (1961) dan uji kuat geser berdasarkan ASTM D-3080-72, detail pengujian sebagai berikut :

- a. Uji Konsolidasi

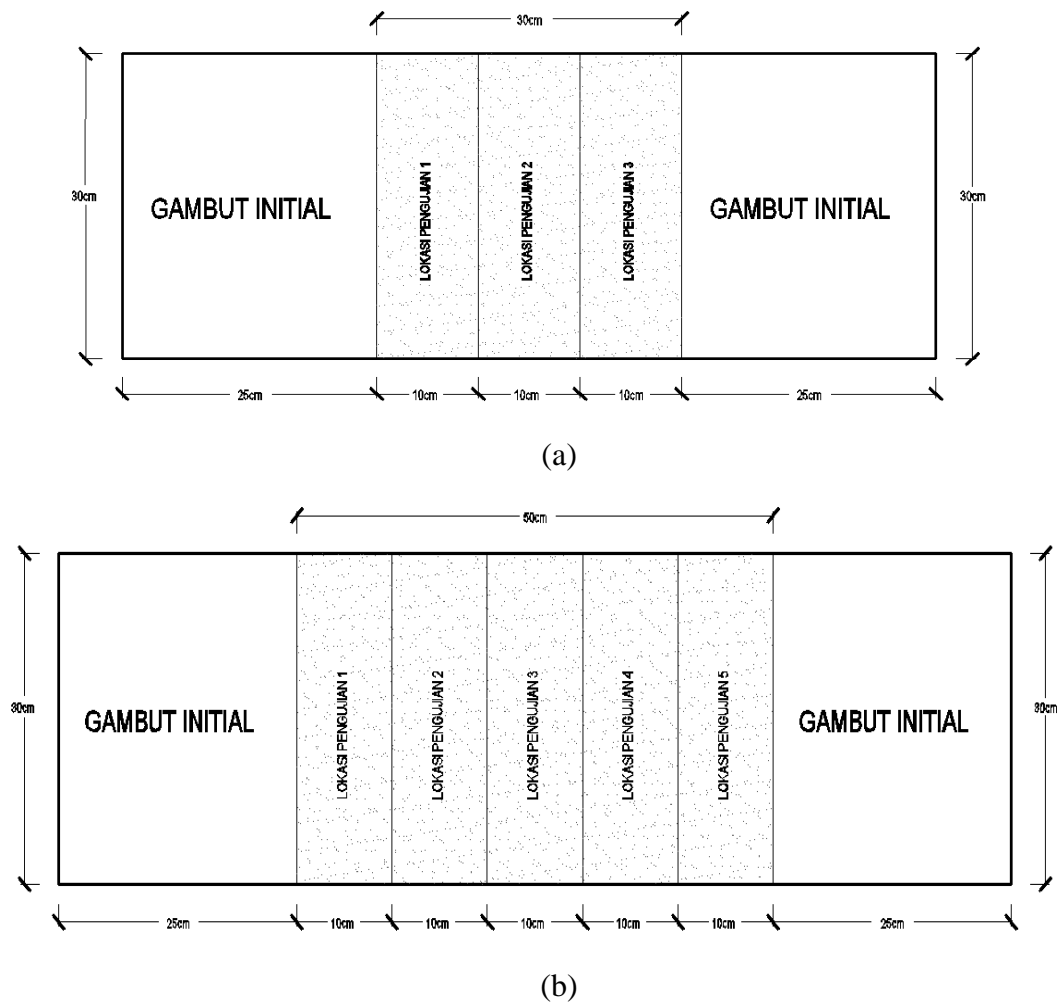
Uji konsolidasi berdasarkan metode Gibson & Lo (1961) dengan beban yang diterapkan sesuai dengan beban rencana yang bekerja di lapangan. Pengujian dilakukan selama 10 hari dengan pencatatan besarnya penurunan yang terjadi dimulai pada 0,25 menit sampai dengan 14.000 menit.
- b. Uji Kuat Geser

Pengujian kuat geser dilakukan dengan asumsi tanah gambut mempunyai perilaku seperti pasir, dimana nilai koefisien rembesannya berkisar 1.10^{-2} sampai dengan 1.10^{-3} cm/det, pengujian ini berdasarkan ASTM D-3080-72.
6. Pemodelan fisik di laboratorium dilakukan dengan menggunakan kotak pemodelan 80 cm (K-80) dan kotak pemodelan 100 cm (K-100). Prosentase admixture (30% kapur + 70% abu terbang) yang digunakan adalah 10% dan 15% dari berat basah (γ_t initial) untuk masing-masing variasi lebar area yang distabilisasi (30 cm dan 50 cm); area gambut yang distabilisasi tersebut diapit oleh gambut initial yang lebarnya 25 cm pada masing masing sisinya seperti ditunjukkan pada Gambar 3.3.
7. Pemeraman dilakukan selama 180 hari dengan pengujian sampel gambut yang distabilisasi dilakukan setiap selang waktu 30 hari yang bertujuan untuk mempelajari kecepatan proses pembentukan kristal calcium silicat (CaSiO_3) pada tanah gambut berserat yang distabilisasi yang tentunya akan berpengaruh terhadap perubahan perilakunya serta pengaruh air dari gambut initial yang berada di sekitarnya terhadap kecepatan proses pembentukan kristal tersebut.
8. Pengujian sifat fisik dan sifat teknis tanah gambut yang distabilisasi dilakukan pada lokasi pengujian yang ditentukan pada masing masing pemodelan K-80 dan K-100 seperti ditunjukkan pada Gambar 3.4 untuk mengetahui pengaruh jarak filtrasi air dari gambut initial terhadap sifat fisik dan sifat teknis gambut yang distabilisasi. Pengujian sifat fisik dan teknis pada gambut yang distabilisasi dilakukan pada setiap usia pemeraman yang ditentukan dengan cara sama seperti dijelaskan pada item 5 dan 6. Pengujian dilakukan minimum 2 (dua) sampel untuk setiap jenis parameter.



Gambar 3.3. Dua jenis pemodelan fisik gambut yang distabilisasi,
 (a) Tampak atas untuk model fisik K-80;
 (b) Tampak atas untuk model fisik K-100

9. Pengumpulan dan analisa data untuk mengetahui perubahan perilaku tanah gambut yang distabilisasi akibat usia stabilisasi dan pengaruh filtrasi air dari tanah gambut initial yang berada disekitarnya dengan cara membandingkannya dengan perilaku dari tanah gambut initial.
10. Dari penelitian Tahap I ini diketahui pengaruh usia stabilisasi dan pengaruh filtrasi air dari tanah gambut initial yang berada disekitarnya terhadap parameter tanah gambut yang distabilisasi.



Gambar 3.4. Tampak atas lokasi pengujian pada dua jenis pemodelan gambut yang distabilisasi, (a) Kotak pemodelan K-80; (b) Kotak pemodelan K-100.

3.2 Penelitian Tahap Dua

Pada penelitian Tahap II ini dibangun model numerik untuk menentukan perilaku parameter tanah gambut yang distabilisasi berdasarkan usia stabilisasi dan lebar area stabilisasi yang berbeda beda melalui Metode Beda Hingga (*Different Element Method/DFM*) dan Metode Interpolasi Lagrange. Data hasil penelitian Tahap I akan digunakan sebagai input data untuk membangun komputasi numerik. Metode beda hingga hanya memerlukan data awal saja (data usia 30 hari) untuk memprediksi nilai sifat fisik dan teknis tanah gambut yang distabilisasi pada usia stabilisasi dan lebar area stabilisasi yang ditentukan. Sedangkan metode interpolasi Lagrange memerlukan semua data untuk memprediksi nilai sifat fisik dan teknis gambut yang

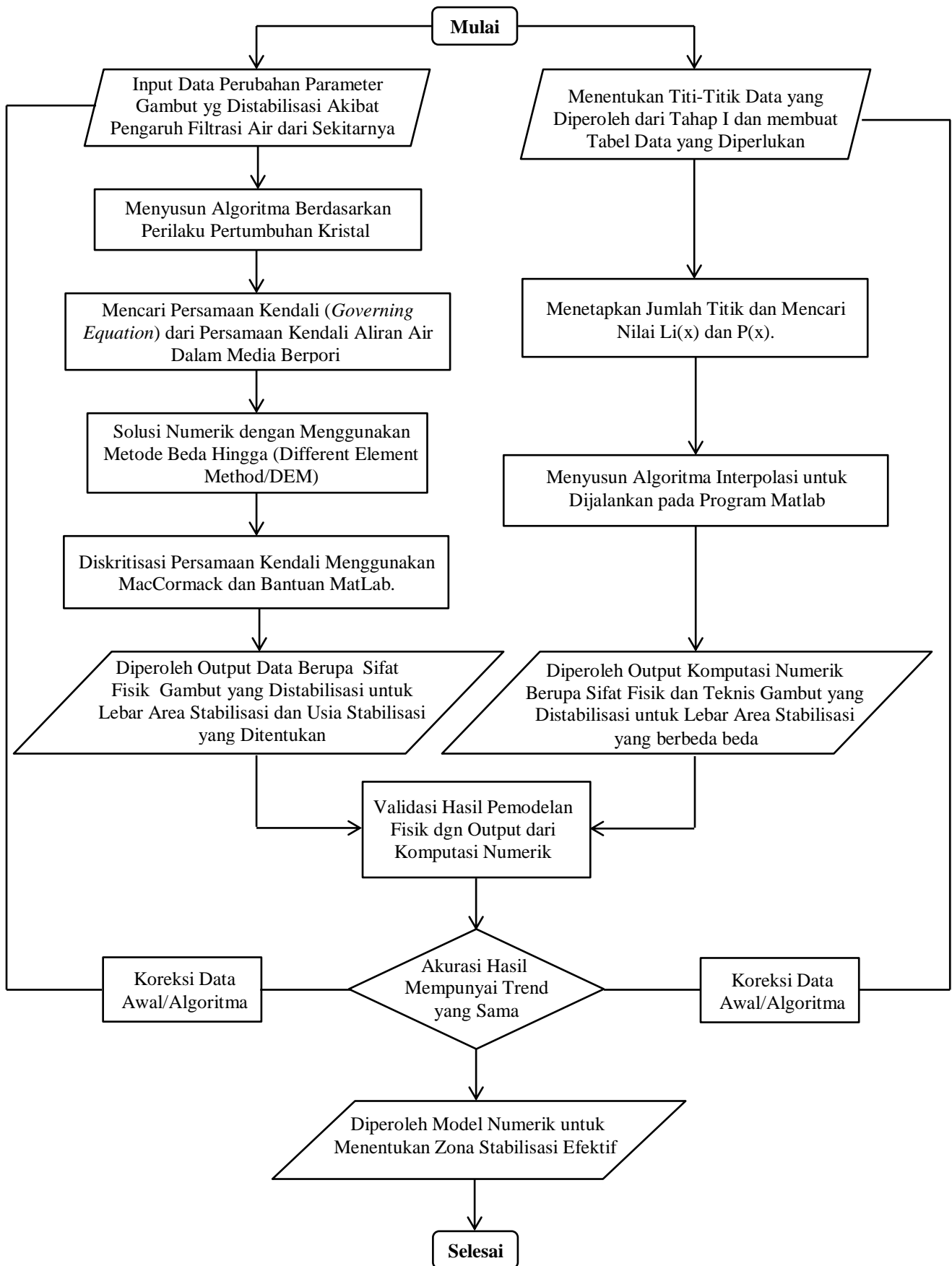
distabilisasi yang ingin dicari. Output dari model numerik yang dibangun tersebut akan dibandingkan dengan parameter yang diperoleh dari model fisik laboratorium yang dilakukan pada Tahap I. Urutan kegiatan penelitian Tahap II dijelaskan dalam diagram alir seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.5.

3.2.1. Metode Beda Hingga

1. Metode Beda Hingga dilakukan dengan membangun model matematika didasarkan pada perilaku sifat fisik yang dihasilkan pada penelitian Tahap I dengan menggunakan persamaan kendali (*Governing Equation*) yang berasal dari penelitian sebelumnya untuk aliran air dalam media berpori.
2. Algoritma pemrograman model matematika disusun untuk menentukan perilaku parameter yang akan dicari berdasarkan perilaku pembentukan gel CaSiO_3 dan beberapa persamaan kendali yang ada.
3. Solusi numerik diselesaikan dengan menggunakan persamaan kendali perilaku fluida dalam media berpori dan pertumbuhan kristal menurut Toyukura (1981).
4. Simulasi model yang telah dibangun dilakukan dengan bantuan Matlab setelah *governing equation* dari pemodelan yang dilakukan pada item 2 didiskritisasi dengan metode MacCormack.
5. Diperoleh data perubahan sifat fisik dan teknis tanah gambut berdasarkan usia stabilisasi dan lebar area stabilisasi yang ditentukan.
6. Validasi data hasil pemodelan metode beda hingga dianggap baik jika perilaku data sesuai dengan data fisik laboratorium.

3.2.2. Metode Interpolasi Lagrange

1. Metode interpolasi Lagrange merupakan prediksi numerik yang dilakukan dengan menentukan titik titik data yang ada dan menyusunnya dalam suatu tabel data.
2. Algoritma interpolasi lagrange disusun berdasarkan titik titik data yang diketahui untuk menentukan sifat fisik dan teknis tanah gambut yang distabilisasi untuk luas area (A) stabilisasi yang berbeda beda.
3. Simulasi numerik dari item nomor 2 dilakukan dengan software MatLab untuk mengetahui parameter yang akan dicari berdasarkan usia stabilisasi, luas area stabilisasi dan prosentase admixture yang dicampurkan.



Gambar 3.5. Diagram alir penelitian tahap dua

4. Validasi data dinyatakan sangat baik apabila tren kecenderungan perilaku perubahan parameter tanah gambut yang distabilisasi yang dipengaruhi oleh filtrasi air dari lingkungan sekitar mempunyai kesamaan antara hasil model fisik di laboratorium dengan hasil komputasi numerik.

Model numerik yang dihasilkan dari penelitian ini dapat digunakan untuk memprediksi nilai parameter tanah gambut yang distabilisasi untuk lebar area stabilisasi yang bervariasi; dengan cara ini kemudian dapat diketahui lebar efektif tanah gambut yang harus distabilisasi (zona efektif) agar pengaruh air dari tanah gambut intial disekitar area yang distabilisasi paling minimum.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

PERUBAHAN PERILAKU TANAH GAMBUT YANG DISTABILISASI DAN PEMODELAN NUMERIKNYA

Seperti telah diuraikan pada bab sebelumnya bahwa tanah gambut yang diteliti distabilisasi dengan 10% dan 15% *admixture*, kemudian diletakkan dalam kotak yang diapit oleh tanah gambut asli yang tidak distabilisasi untuk mengimitasi kondisi lapangan. Lebar gambut yang distabilisasi dibuat berbeda yaitu 30cm dan 50cm dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh air gambut dari tanah gambut disekelilingnya terhadap perilaku gambut yang distabilisasi dengan umur dan jarak yang bervariasi. Dari analisis yang diberikan dalam bab ini diharapkan dapat diketahui prosentase *admixture* yang tepat untuk dipakai dan lebar area yang harus distabilisasi apabila ada pengaruh air gambut dari sekitarnya.

4.1. Tanah Gambut Initial

Pengujian sifat fisik tanah gambut dilakukan di dua tempat yaitu di lapangan dan di laboratorium. Parameter tanah yang ditentukan di lapangan meliputi berat volume tanah (γ_t), keasaman (pH) dan kuat geser gambut (τ). Parameter fisik: kadar air (w_c), *specific gravity* (G_s), kadar serat (F_c), kadar organik (O_c), kadar abu (A_c), serta parameter teknis tanah untuk konsolidasi serta kuat geser gambut ditentukan di laboratorium; jadi kuat geser gambut ditentukan di lapangan dan di laboratorium. Pengujian laboratorium dilakukan sesuai dengan *Peat Testing Manual* ASTM-1984; hasil pengujian diberikan pada Tabel 4.1.

Berdasarkan hasil pengujian tersebut diketahui bahwa parameter fisik dan teknis gambut initial masih berada dalam rentang hasil pengujian yang dilakukan oleh peneliti lainnya (Hanrahan 1954, Lea 1959, MacFarlane and Radforth 1965, MacFarlane 1969, Mochtar, NE. et al. 1991, 1998, 1999, 2000, and Pasmara 2000). Tanah gambut yang diteliti dapat diklasifikasikan sebagai “tanah gambut (Hemic) dengan kandungan abu rendah dan keasaman tinggi” atau “*peat soil (hemic) with low ash content and high acidity*” (menurut ASTM D4427-92).

Tabel 4.1. Sifat Fisik Gambut Tidak Terganggu

| No | Sifat Fisik | Satuan | Nilai | Hasil oleh Peneliti lainnya |
|----|-------------------------------------|--------------------|-------|-----------------------------|
| 1 | Spesific Gravity (Gs) | - | 1.49 | 1.4 - 1.7 |
| 2 | Kadar Air (w_c) | % | 630 | 450 - 1500 |
| 3 | Berat Volume | gr/cm ³ | 0.98 | 0.9 - 1.25 |
| 4 | Berat Volume kering | gr/cm ³ | 0.139 | - |
| 5 | Angka Pori (e) | - | 10.4 | 6.89 - 11.09 |
| 6 | Keasaman (pH) | - | 3.1 | 3-7 |
| 7 | Kandungan Organik (Oc) | % | 98 | 62.5 - 98 |
| 8 | Kadar Abu (Ac) | % | 2.0 | 2 - 37.5 |
| 9 | Kadar Serat (Fc) | % | 52.1 | 39.5 - 61.3 |
| | - Kadar serat kasar | % | 56.25 | 35.35 – 49.69 |
| | - Kadar serat medium | % | 29.38 | 31.94 – 35.84 |
| | - Kadar serat halus | % | 14.37 | 18.37 – 29.00 |
| 11 | Uji geser langsung : Phi (ϕ) | ⁰ | 20 | 30° - 50° |
| | : C | kPa | 0.5 | - |
| 12 | Vane shear | kPa | 8.7 | 5 – 10 |

(Sumber : Data primer, 2014).

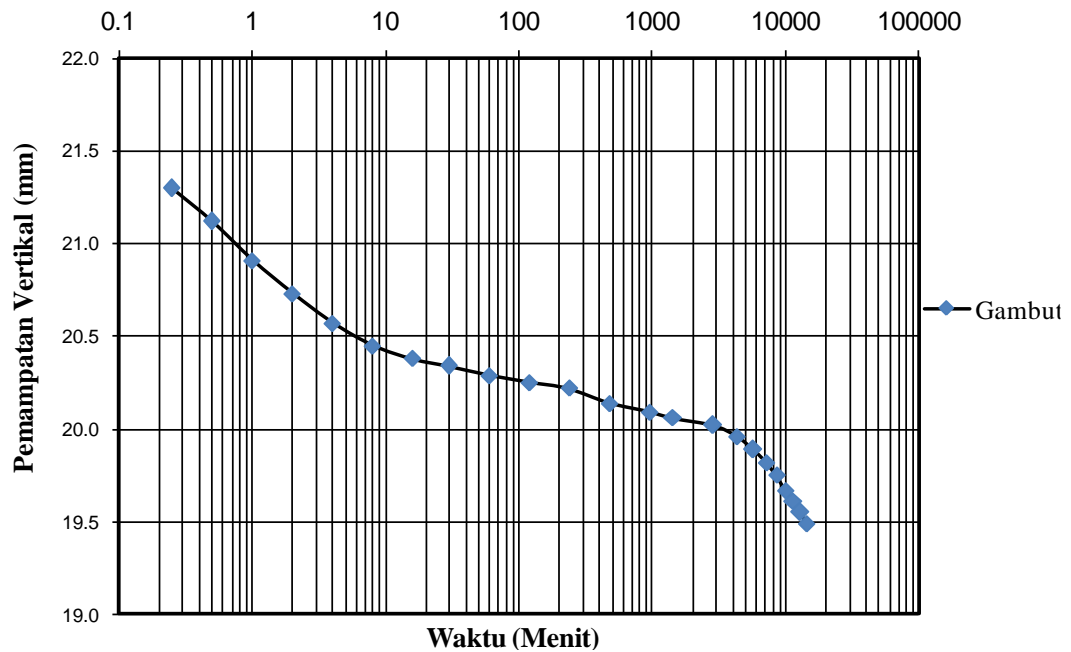
Nilai *spesifik gravity* (Gs) tanah gambut sebesar 1,49 menunjukkan bahwa tanah gambut tersebut mempunyai kadar organik yang tinggi (98%). Hal ini sesuai dengan pernyataan MacFarlane (1969) yang menyebutkan bahwa nilai Gs gambut berada dalam kisaran 1.4-1.7 dan akan meningkat menjadi ≥ 2 apabila terkontaminasi oleh mineral. Kadar organik tanah gambut yang tinggi juga berakibat pada tingkat keasaman tanah gambut tersebut. Uji keasaman yang dilakukan pada 2 titik dilokasi pengambilan sampel menunjukkan nilai $pH_{rata\ rata}$ tanah gambut tersebut 3,1 sehingga sangat tidak aman untuk material bangunan.

Berat volume tanah gambut (γ_t) 0.98 gr/cm^3 , berat volume kering (γ_d) $0,139 \text{ gr/cm}^3$ serta nilai kadar air yang tinggi yaitu 630% menunjukkan bahwa material terbesar dalam tanah gambut merupakan air dengan jumlah sekitar 6 kali lipat dari butiran solid yang berarti bahwa tanah gambut merupakan tanah dengan pori yang besar (10.44). Kadar serat gambut yang diteliti mencapai 52.1% dan merupakan tanah gambut berserat (MacFarlane, 1965) dengan dominasi serat kasar sebesar 56,25%. Hal ini menunjukkan proses pembusukan yang terjadi masih sedikit sehingga serat kasar dan medium masih terlihat jelas dan gambut yang diteliti termasuk dalam gambut H4 berdasarkan klasifikasi Von Post (1992).

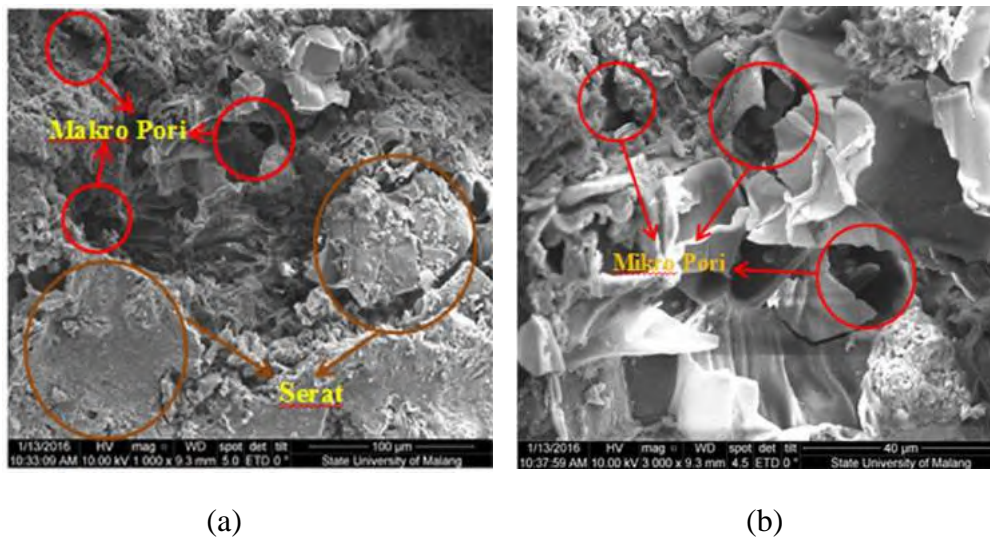
Tanah gambut merupakan *frictional material* atau *non kohesive material* (Adam, 1965) sehingga kuat gesernya hanya mengandalkan kekuatan sudut geser dalamnya (ϕ). Oleh sebab itu distribusi serat pada tanah gambut sangat mempengaruhi nilai sudut geser dalamnya. Dari 3 (tiga) kali pengujian geser langsung yang dilakukan didapatkan nilai ϕ yang variatif yaitu, 20° , 26° dan 36° ; hal ini disebabkan adanya ukuran serat yang berbeda pada setiap sampel gambut yang di test. Hasil yang diperoleh tersebut masih sesuai dengan pernyataan Landva (1982) dimana harga sudut geser dalam (ϕ) tanah gambut berserat adalah berkisar antara $27^\circ - 32^\circ$.

Angka pori dan kadar air gambut yang tinggi menyebabkan tanah gambut sensitif terhadap beban yang bekerja di atasnya. Hal ini dibuktikan dari besarnya pemampatan yang terjadi pada gambut initial yang diberi beban sebesar 50 kPa (Gambar 4.1). Selain itu perilaku pemampatan tanah gambut sangat berbeda dengan tanah lempung sehingga metode pembebanan bertahap tidak dapat diterapkan dalam memprediksi besarnya pemampatan yang terjadi pada tanah gambut seperti yang dijelaskan pada Subbab 2.3.2.

Orientasi mikro serat dalam tanah gambut dapat diketahui dengan jelas dari hasil uji SEM (*Scanning Electron Microscope*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2. Gambar 4.2a menunjukkan serat yang ada dalam tanah gambut dan makropori diantara serat gambut sedangkan pada Gambar 4.2b terlihat mikro pori yang berada dalam serat gambut. Oleh sebab itu wajar apabila tanah gambut yang distudi mempunyai perilaku yang berbeda dengan tanah lempung.



Gambar 4.1. Grafik Pemampatan gambut initial dengan beban 50 kPa.



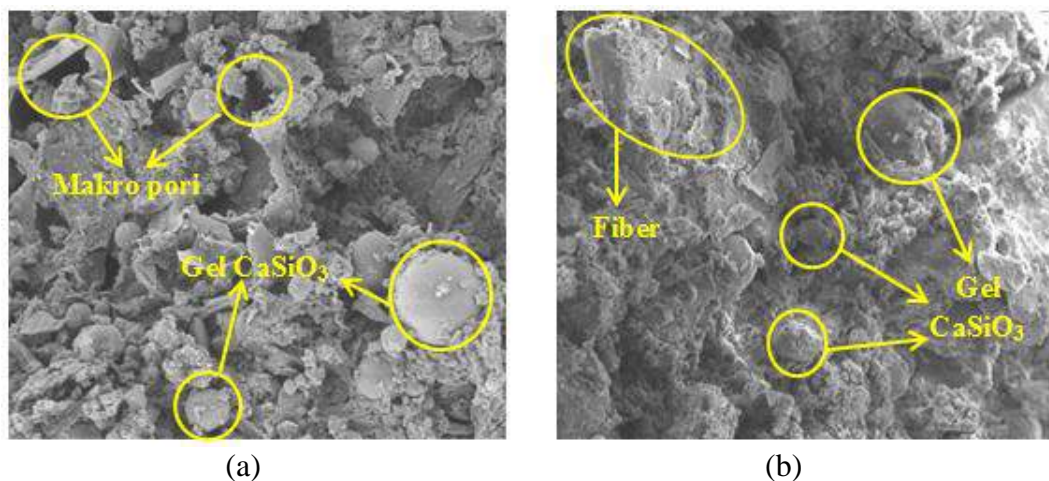
Gambar 4.2. Foto SEM tanah gambut initial: (a) Pembesaran 1000 kali, (b) Pembesaran 2000 kali.

4.2. Pembentukan Gel CaSiO_3 .

Kapur CaCO_3 merupakan material yang sangat baik sebagai *filler* (Igles and Metcalf, 1979), hal ini sesuai dengan kondisi gambut yang mempunyai pori yang besar dan berserat (Gambar 4.2). Namun, karena gambut tidak mempunyai silica maka penambahan abu terbang akan dapat membentuk gel CaSiO_3 yang

mampu mengisi pori gambut dan membungkus seratnya dengan baik seperti yang telah dijelaskan pada Sub Bab 2.4.1. (Igles and Metcalf, 1979; Harwadi and Mochtar, N.E., 2010). Pengujian SEM EDX dilakukan pada tanah gambut yang distabilisasi untuk mengetahui struktur micro dan unsur dominan yang terkandung dalam gambut yang distabilisasi. Pengujian SEM EDX dilakukan pada sampel gambut K-100 dibagian tengah (berjarak 25 cm dari tepi gambut initial) dengan asumsi dibagian tersebut gel CaSiO_3 yang terbentuk merupakan bagian yang paling baik karena pengaruh filtrasi air sudah minimal.

Gambar 4.3 menunjukkan hasil foto SEM EDX untuk tanah gambut usia stabilisasi 30 hari. Mullin (1982) dan Toyukura (1982) menyatakan bahwa gel yang terbentuk dari reaksi lewat jenuh akan tumbuh ke segala arah dan mempunyai bentuk sesuai jenis materialnya. Karena admixture yang ditambahkan merupakan campuran kapur CaCO_3 dan abu terbang maka bentuk gelnya berupa bundaran dengan ukuran yang bervariasi (Tri Wulan, 2007; Yulianto dan Mochtar, NE., 2010; Mochtar, NE., dkk., 2014). Dari Gambar 4.3a diketahui bahwa prosentase admixture yang lebih besar menghasilkan gel CaSiO_3 yang lebih banyak sehingga mampu menutupi pori dan membungkus serat gambut dengan baik (Gambar 4.3b). Sebaliknya pada gambut yang distabilisasi dengan 10%



Gambar 4.3. Foto SEM tanah gambut yang distabilisasi pembesaran 2000x usia stabilisasi 30 hari. (a) 10% Admixture, (b) 15% Admixture.

admixture (Gambar 4.3a) gel masih belum mampu menutupi pori dengan baik sehingga ada beberapa makro pori yang masih terlihat dengan jelas. Dari kondisi

struktur mikro pada awal usia stabilisasi (30 hari) maka dapat diperkirakan bahwa gambut yang distabilisasi dengan 15% admixture akan mampu menghasilkan sifat fisik dan teknis yang lebih baik dibandingkan dengan gambut yang distabilisasi dengan 10% admixture.

Bertambahnya usia stabilisasi akan menyebabkan gel CaSiO_3 terus tumbuh ke segala arah (Mullin, 1982; Toyukura, 1982) dan semakin menutupi pori gambut yang distabilisasi (Gambar 4.4). Jika dibandingkan dengan foto SEM EDX pada usia stabilisasi 30 hari, nampak bahwa sebagian pori gambut yang distabilisasi sudah berkurang hal ini mengindikasikan bahwa pertumbuhan gel berjalan dengan baik meskipun pada gambut dengan 10% admixture (Gambar 4.4 a) masih terlihat ruang pori (makropori) yang belum tertutupi gel CaSiO_3 .

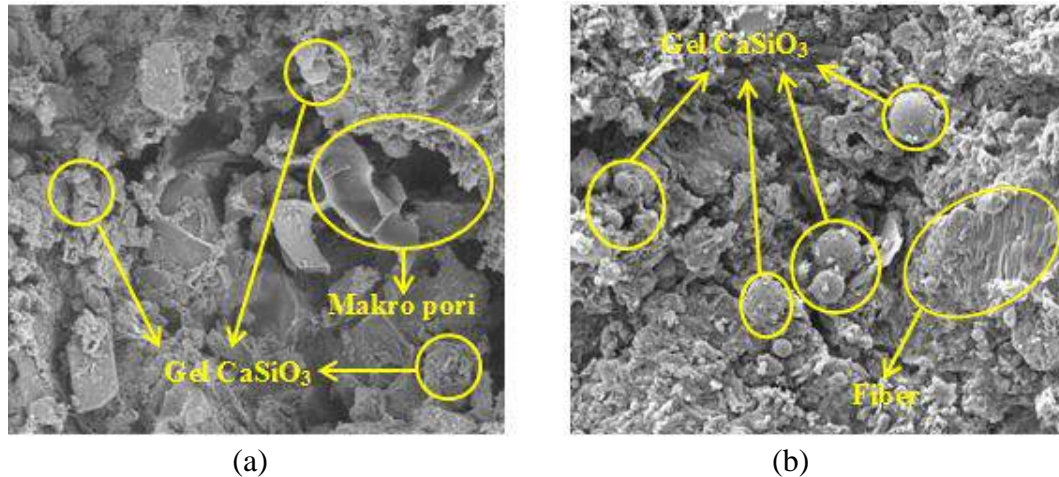


Gambar 4.4. Foto SEM tanah gambut yang distabilisasi pembesaran 2000x usia stabilisasi 120 hari (a) 10% Admixture, (b) 15% Admixture.

Efek dari jumlah admixture yang dicampurkan juga terlihat dari Gambar 4.4 dimana gambut dengan 15% admixture mempunyai gel dengan variasi ukuran gel yang lebih baik dibandingkan dengan gambut dengan 10% admixture. Dari Gambar 4.4. juga semakin memperjelas bahwa pertumbuhan gel pada gambut dengan 15% admixture mempunyai struktur pori yang lebih rapat dibandingkan gambut dengan 10% admixture.

Gambar 4.5 menunjukkan pertumbuhan gel CaSiO_3 ketika usia stabilisasi mencapai 180 hari. Pada gambut dengan 10% admixture (Gambar 4.5a) kondisi

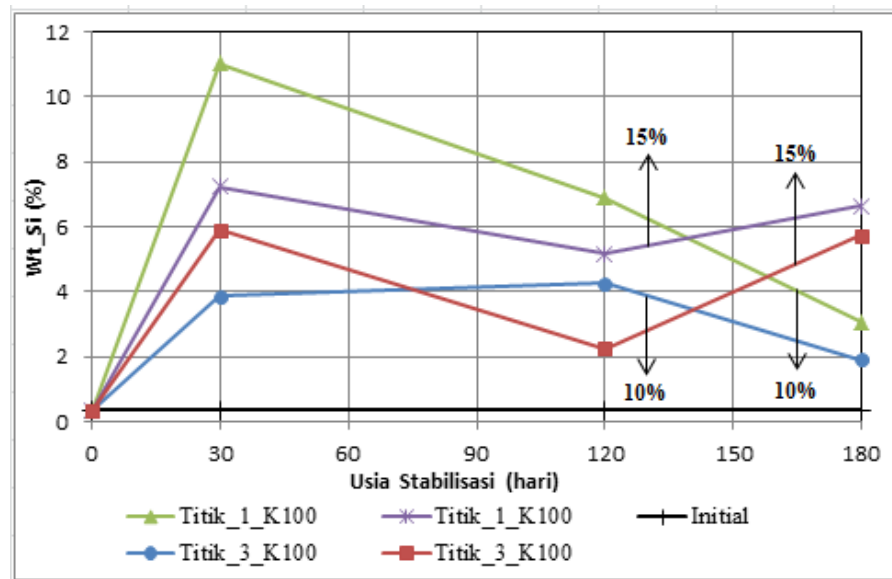
struktur mikro gambut bahkan lebih buruk dibandingkan usia stabilisasi 120 hari dimana terlihat masih banyaknya ruang pori kosong yang tidak terisi oleh gel



Gambar 4.5. Foto SEM tanah gambut yang distabilisasi pembesaran 2000x usia stabilisasi 180 hari (a) 10% Admixture, (b) 15% Admixture.

CaSiO_3 . Fenomena tersebut dimungkinkan oleh dua faktor, yaitu gel yang tidak terbentuk dengan baik akibat prosentase admixture yang kecil menyebabkan gel yang telah terbentuk mengalami proses difusi akibat filtrasi air dari sekitarnya (Toyukura, 1982; Fick, 1992) serta sampel yang diujikan merupakan bagian yang tidak tercampur dengan baik sehingga terdapat pori yang tidak terisi oleh gel (Souliman, 2011; Mochtar, NE., dkk., 2014).

Selain kondisi ruang pori gambut, SEM EDX juga mampu mendeteksi prosentase berat unsur dominan (Wt) yang ada dalam sampel gambut yang distabilisasi seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.6 sampai dengan 4.8 Pada awal usia stabilisasi, gambut dengan 10% admixture mempunyai Wt_{Si} yang lebih besar dibandingkan Wt_{Si} gambut dengan 15% admixture (Gambar 4.6); Hal ini disebabkan prosentase yang lebih sedikit dapat membentuk gel CaSiO_3 lebih cepat (Mochtar, N.E., dkk, 2014) meskipun masih banyak ruang pori yang belum tertutupi oleh gel yang terbentuk (Gambar 4.3). Tetapi karena gel yang terbentuk masih belum stabil maka Wt_{Si} gambut dengan 10% admixture terus menurun sampai usia stabilisasi 180 hari sebagai akibat adanya filtrasi air dari sekitarnya (Mullin, 1982; Toyukura, 1982).

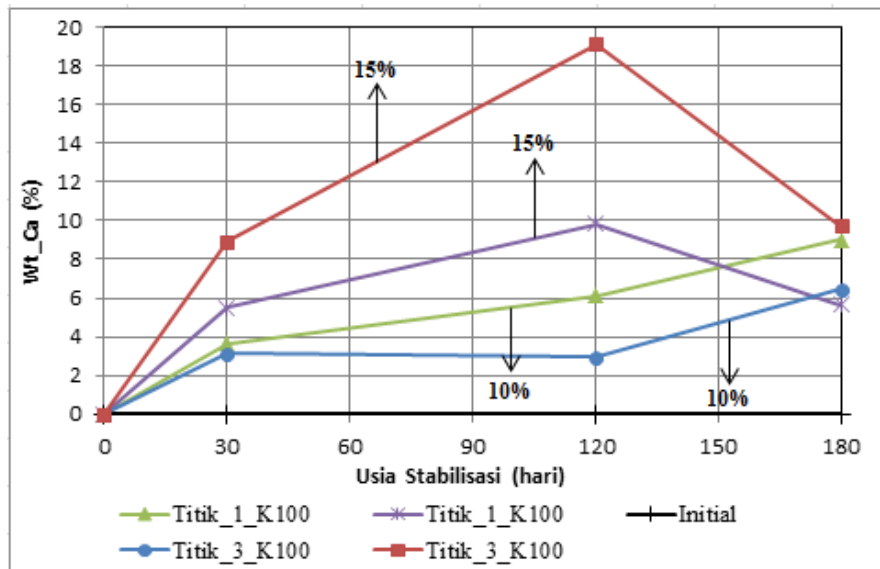


Gambar 4.6. Perilaku prosentase berat Silica (Wt_Si) pada tanah gambut yang distabilisasi hasil uji SEM EDX.

Karena prosentase admixture yang diberikan lebih besar Wt_Si pada gambut dengan 15% admixture memerlukan waktu yang lebih lama untuk membentuk gel CaSiO_3 bahkan cenderung menurun sampai usia stabilisasi 120 hari. Hal ini dimungkinkan kondisi air dalam pori yang lebih sedikit dibandingkan gambut dengan 10% admixture. Namun, ketika usia stabilisasi di atas 120 hari nilai Wt_Si gambut dengan 15% admixture terus meningkat yang mengindikasikan gel sudah mulai stabil dan mulai berubah menjadi kristal CaSiO_3 . Kandungan Wt_Si juga dipengaruhi oleh jarak dari tepi gambut dimana titik_1 mempunyai Wt_Si lebih besar dari titik 3 meskipun pada usia 180 hari perbedaannya terus mengecil hal ini dimungkinkan bagian tepi yang mudah dipengaruhi filtrasi air membuat unsur Silica lebih cepat terbentuk.

Prosentase berat unsur kapur (Wt_Ca) pada gambut yang distabilisasi secara umum meningkat dengan bertambahnya usia stabilisasi (Gambar 4.4). Berbeda dengan silica, kapur pada gambut dengan 15% admixture mempunyai nilai lebih besar dibandingkan kapur pada gambut dengan 10% admixture. Perilaku ini dimungkinkan karena kandungan kapur sangat dominan pada CaCO_3 sebesar 70% (Yulianto, FE dan MOchtar, NE., 2010) dibandingkan silica yang hanya sekitar 47% pada SiO_2 (abu terbang) sehingga pada proses pembentukan

gel CaSiO_3 unsur kapur lebih kuat dibandingkan silica. Perilaku tersebut juga dapat dilihat dari nilai Wt_{Ca} yang mempunyai nilai tertinggi 18% dibandingkan Wt_{Si} yang hanya 10% pada titik pengujian SEM EDX yang sama.

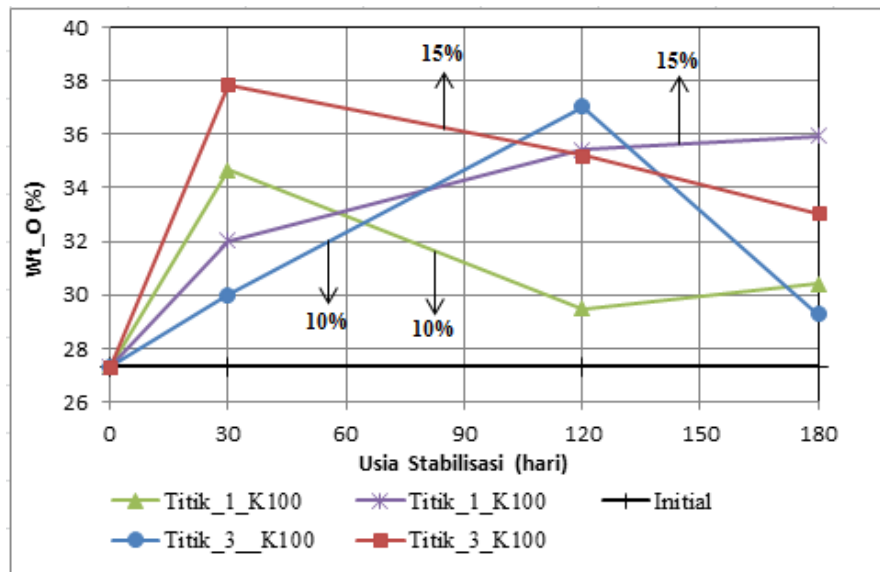


Gambar 4.7. Perilaku prosentase berat Kapur (Wt_{Ca}) pada tanah gambut yang distabilisasi hasil uji SEM EDX.

Perilaku sedikit berbeda ditunjukkan oleh nilai Wt_{Ca} saat usia 180 hari yang menurun cukup besar. Hal ini mungkin disebabkan oleh sampel yang diujikan merupakan bagian gambut yang tidak tercampur dengan baik dengan admixture dan pemerataan admixture yang dicampurkan merupakan kendala utama dalam proses stabilisasi tanah gambut baik di laboratorium maupun di lapangan (Jelistic and Lappanen, 2001; Souliman, 2011; Mochtar, N.E., dkk, 2014).

Selain unsur Ca dan Si prosentase berat unsur Oksigen (Wt_{O}) juga merupakan unsur dengan kuantitas yang cukup besar dalam pembentukan gel CaSiO_3 bahkan nilai unsur O merupakan prosentase tertinggi diantara unsur Si dan Ca (Gambar 4.5) selain karena gambut merupakan gudang CO_2 (Agus, 2008) admixture yang ditambahkan juga mempunyai unsur O (Yulianto dan Mochtar, NE., 2010) yaitu kapur CaCO_3 dan abu terbang (SiO_2). Hanya saja perubahan nilai Wt_{O} terhadap usia stabilisasi cenderung lebih fluktuatif dimungkinkan oleh proses pelepasan CO_2 saat proses stabilisasi terjadi (Fung, et.al., 1991). Dari Gambar 4.5 juga diketahui bahwa gambut dengan 15% admixture mempunyai

Wt_O yang lebih besar dari gambut dengan 10% admixture yang mengindikasikan bahwa prosentase admixture lebih besar akan mampu membentuk gel CaSiO_3 yang lebih baik hal ini juga sesuai dengan prosentase unsur lainnya (Si dan Ca) seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 serta kondisi struktur micronya (Gambar 4.3 sampai dengan Gambar 4.5)



Gambar 4.8. Perilaku prosentase berat Oksigen (Wt_O) pada tanah gambut yang distabilisasi hasil uji SEM EDX.

Berdasarkan penjelasan di atas diketahui bahwa indikasi pembentukan gel CaSiO_3 dapat diketahui dari kandungan unsur kapur (Ca), Silica (Si) dan Oksigen (O) yang ada pada gambut yang distabilisasi meskipun pendeteksian senyawa CaSiO_3 yang terbentuk masih belum bisa dilakukan disebabkan jenis pengujian yang tepat untuk pembentukan senyawa masih belum ada.

4.3. Pengaruh Jarak terhadap Perilaku Tanah Gambut yang Distabilisasi

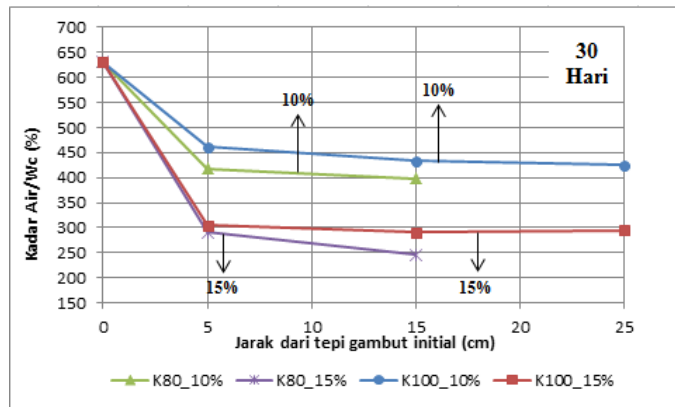
Seperti penjelasan sebelumnya bahwa penambahan admixture (campuran Kapur+Abu terbang) akan membentuk gel CaSiO_3 yang mampu mengisi pori dan membungkus serat gambut yang distabilisasi (Ingles & Metcalf, 1979; Harwadi dan Mochtar, NE., 2010) seperti yang dijelaskan pada Sub Bab 2.6. Perubahan pada struktur micro gambut akan berdampak pada perubahan sifat fisik dan teknis nya. Pada Sub Bab ini akan dijelaskan pengaruh jarak terhadap perubahan sifat

fisik dan teknis tanah gambut yang distabilisasi. Berdasarkan penjelasan di Sub Bab 3.1 sampel diambil dari model K-80 yang mempunyai jarak 5 dan 15 cm dari tepi gambut sera model K-100 yang berjarak 5, 15 dan 25 cm dari gambut initial untuk dua jenis prosentase admixture yang dicampurkan.

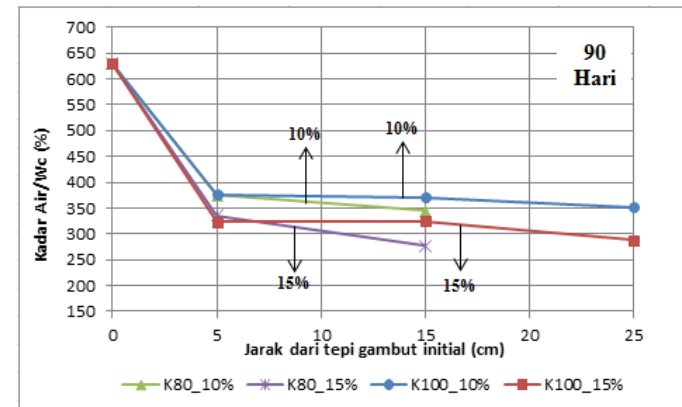
1. Kadar Air.

Penambahan admixture menyebabkan kadar air (wc) menurun cukup besar (Gambar 4.9), hal ini terjadi pada semua variasi jarak gambut yang distabilisasi terhadap gambut initial. Perilaku ini membuktikan bahwa gambut menggunakan air porinya untuk bereaksi dengan admixture untuk membentuk gel CaSiO_3 (kalsium silicat) yang mengisi dan membungkus serat gambut. Pada awal usia stabilisasi (30 hari) terlihat bahwa prosentase admixture yang lebih besar (15% admixture) mempunyai nilai wc yang lebih rendah, artinya semakin banyak admixture yang dicampurkan maka volume air yang diperlukan untuk membentuk gel CaSiO_3 juga semakin banyak seperti yang ditunjukkan juga oleh struktur ruang pori di usia 30 hari (Gamabr 4.3). Pada usia 30 hari perbedaan jarak belum terlihat bahkan cenderung konstan hal ini disebabkan gel CaSiO_3 masih dalam proses pembentukan.

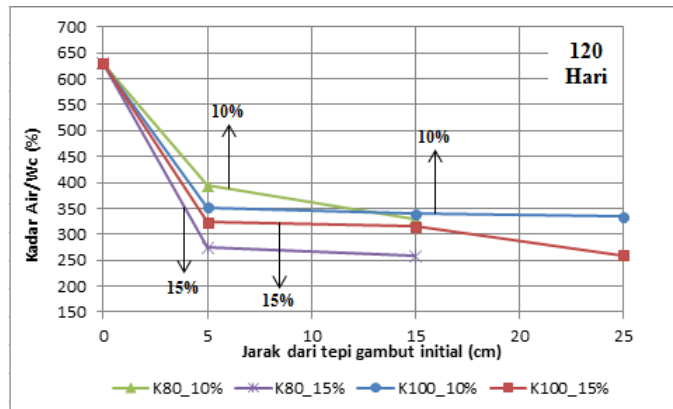
ketika usia stabilisasi mencapai 90 hari nilai wc pada jarak 25 cm sudah terlihat menurun hal ini dimungkinkan bahwa gel sudah mulai menutupi pori gambut sehingga semakin jauh jarak dari tepi gambut initial nilai wc mempunyai kecenderungan lebih rendah. Perilaku ini terus berlangsung sampai dengan usia stabilisasi 120 hari. Selain itu, perubahan juga terjadi pada wc gambut dengan 10% admixture dimana nilai wc nya turun menjadi sekitar 350% dibandingkan usia 30 hari yang masih berada pada angka 400% hal ini juga dimungkinkan karena gel sudah mulai mengisi pori gambut meskipun tidak sebaik gambut dengan 15% admixture karena masih ada ruang pori yang kosong (Gambar 4.4) Pada usia stabilisasi 180 hari, pengaruh jarak sangat terlihat dimana nilai wc terus mengecil dengan bertambahnya jarak dari gambut initial terutama pada gambut yang distabilisasi dengan 15% admixture dimana nilai wc nya semakin kecil dibandingkan usia stabilisasi sebelumnya. Sementara wc pada gambut yang distabilisasi dengan 10% admixture perubahan tidak banyak terjadi



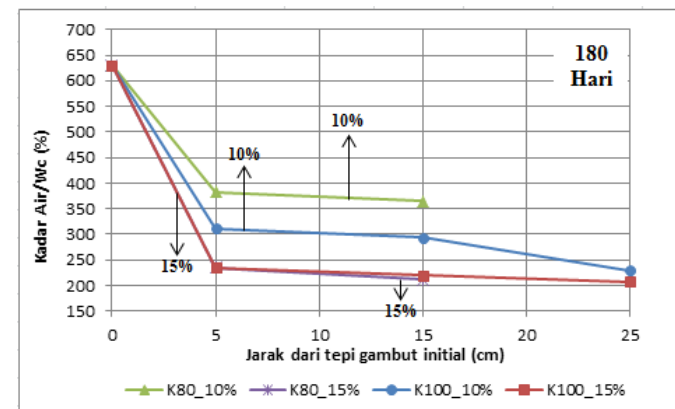
(a)



(b)



(c)



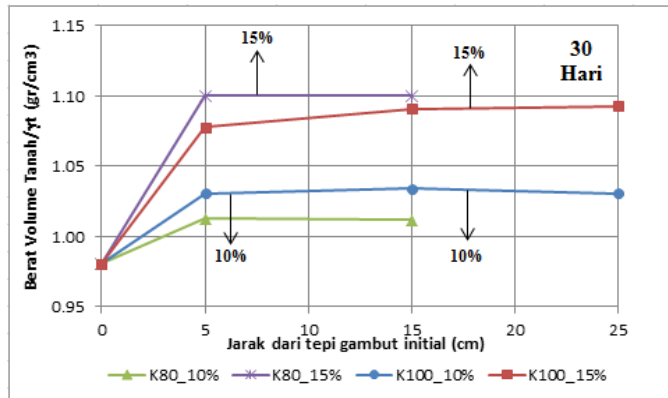
(d)

Gambar 4.9 Pengaruh jarak terhadap perilaku kadar air (wc) tanah gambut yang distabilisasi

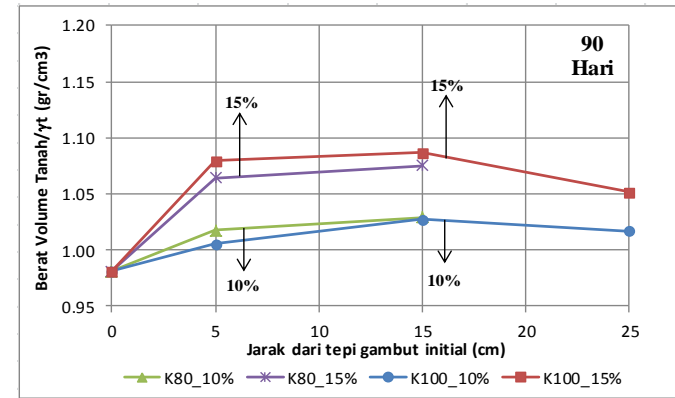
bahkan pada model K-80 (area stabilisasi 30 cm) wc kembali meningkat akibat proses difusi dimana sebagian gel yang terbentuk kembali terlarut akibat filtrasi air (Toyukura, 1982; Fick, 1992). Pernyataan ini memperkuat analisa pada Gambar 4.5 tentang kondisi ruang pori gambut yang distabilisasi dengan 10% admixture pada usia stabilisasi 180 hari.

2. Berat Volume Tanah Gambut (γ_t)

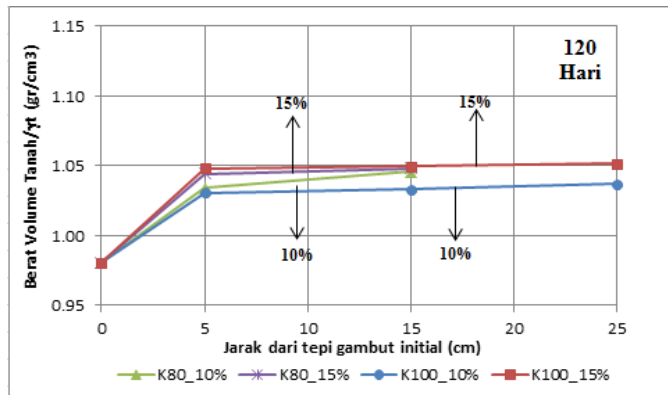
Penambahan admixture menyebabkan berat volume tanah gambut yang distabilisasi (γ_t) meningkat terutama pada gambut yang distabilisasi dengan 15% admixture (Gambar 4.10). Pada awal usia stabilisasi (30 hari) pengaruh jarak masih belum terlihat, sama seperti perilaku wc nya (Gambar 4.9a) karena gel masih belum terbentuk dengan baik terutama pada gambut yang distabilisasi dengan 10% admixture (Gambar 4.3). Saat usia stabilisasi 90 hari nilai γ_t menurun pada jarak 25 cm untuk semua prosentase admixture yang diberikan hal ini dimungkinkan karena air dalam makropori gambut sudah mulai sangat berkurang sementara filtrasi air untuk mengisi makropori yang mulai kosong sedikit terhambat akibat pembentukan gel CaSiO_3 yang mengisi pori gambut ini sesuai dengan perilaku wc pada usia yang sama (Gambar 4.9b). Nilai γ_t pada jarak 25 cm kembali meningkat saat usia stabilisasi mencapai 120 hari yang menandakan air kembali mengisi makropori dan pembentukan gel kembali berlangsung. Namun pengaruh jarak pada usia 120 hari masih belum terlihat bahkan nilai γ_t cenderung konstan setelah jarak di atas 5 cm, hal ini mungkin disebabkan kondisi air yang terus mempengaruhi pembentukan gel sehingga gel CaSiO_3 yang terbentuk belum stabil. Perilaku berbeda nilai γ_t terlihat pada usia stabilisasi 180 hari dimana nilai γ_t untuk gambut yang distabilisasi dengan 15% admixture terus meningkat dengan semakin jauhnya jarak dari tepi gambut initial, sementara nilai γ_t untuk gambut dengan 10% admixture cenderung konstan. Hal ini memperkuat pernyataan sebelumnya bahwa prosentase admixture yang lebih banyak dicampurkan (15%) mampu membentuk gel yang lebih stabil jika terpengaruh filtrasi air dibandingkan gambut yang distabilisasi dengan 10% admixture.



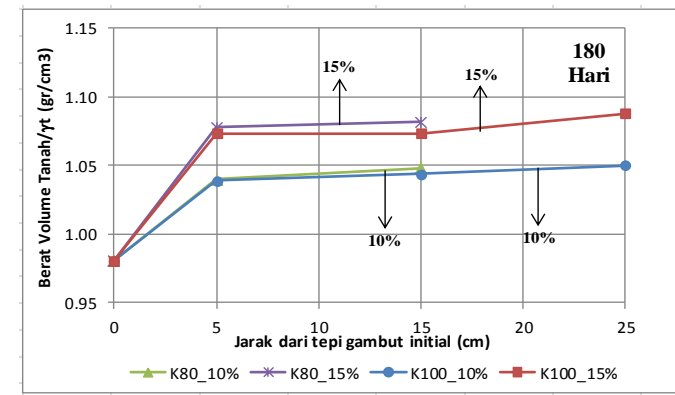
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.10 Pengaruh jarak terhadap perilaku berat volume (γ_t) tanah gambut yang distabilisasi

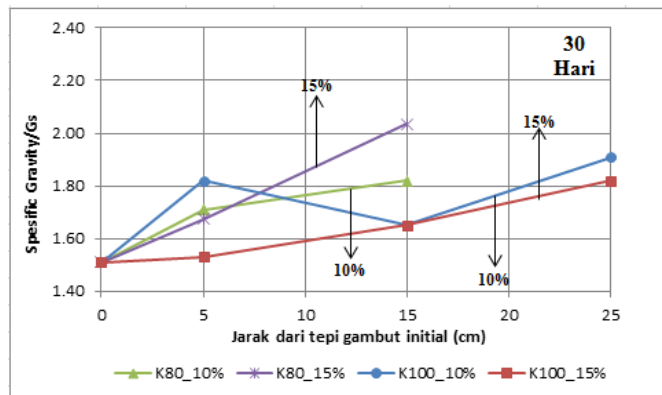
Perilaku ini juga sesuai dengan kondisi ruang pori gambut pada usia stabilisasi 180 hari (Gambar 3.5)

3. Spesific Gravity (Gs)

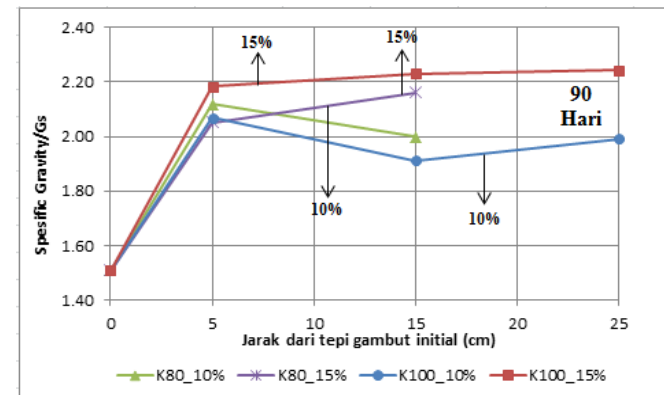
Penambahan admixture menyebabkan nilai Gs meningkat menjadi lebih besar dari 2.0; hal ini mengindikasikan tanah gambut telah tercampur mineral (Gambar 4.11) sesuai dengan pernyataan MacFarlane (1959). Sama halnya dengan perilaku w_c dan γ_t , secara umum nilai Gs gambut yang distabilisasi mulai konstan ketika usia stabilisasi di atas 120 hari. Hal ini diketahui dari kurva Gs saat awal stabilisasi (30 hari) dimana pengaruh beda prosentase yang diberikan belum terlihat meskipun semakin jauh dari tepi gambut initial nilai Gs cenderung meningkat. Pada usia 90 hari, nilai Gs gambut dengan 15% admixture meningkat di atas 2.0, sedangkan Gs gambut yang distabilisasi dengan 10% admixture terlihat Gs nya menurun ketika jarak di atas 5 cm. perilaku ini membuktikan bahwa gambut yang distabilisasi dengan 15% admixture memerlukan waktu yang lebih lama untuk membentuk gel CaSiO_3 (Mochtar, NE., dkk., 2014) sedangkan gel pada gambut yang distabilisasi dengan 10% admixture masih belum stabil dan lebih mudah mengalami proses difusi akibat filtrasi air dari kedua sisinya (Toyukura, 1981; Fick, 1992). Ketika usia stabilisasi mencapai 120 hari, pengaruh prosentase admixture dan jarak terlihat dengan jelas (Gambar 4.11c) perbedaannya. Hal ini mengindikasikan bahwa filtrasi air sangat berpengaruh pada pembentukan gel CaSiO_3 . Perilaku ini terus berlanjut ketika usia stabilisasi 180 hari, gel CaSiO_3 terus bereaksi dibuktikan dengan terus meningkatnya nilai Gs pada jarak 25 cm, dimungkinkan pada usia 180 hari gel sudah mulai berubah menjadi kristal.

4. Angka Pori (e)

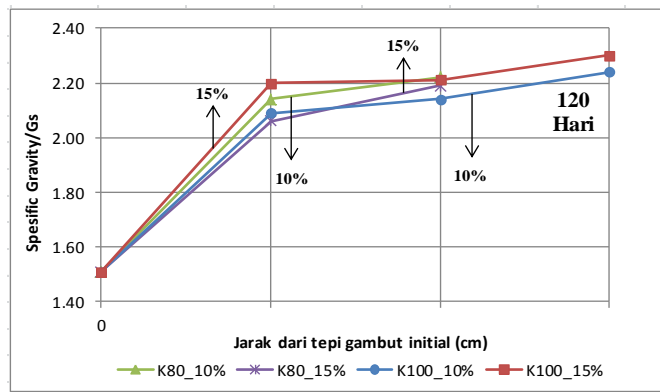
Penurunan w_c akibat terbentuknya gel CaSiO_3 (Gambar 4.9) dan meningkatnya γ_t (Gambar 4.10) akibat penambahan admixture pada volume yang konstan juga menyebabkan penurunan angka pori (e) gambut yang distabilisasi (Gambar 4.12). Pengaruh perbedaan prosentase admixture yang dicampurkan jelas terlihat pada perilaku e saat usia stabilisasi 30 hari, hal ini normal terjadi karena semakin banyak prosentase admixture yang dicampurkan gel yang



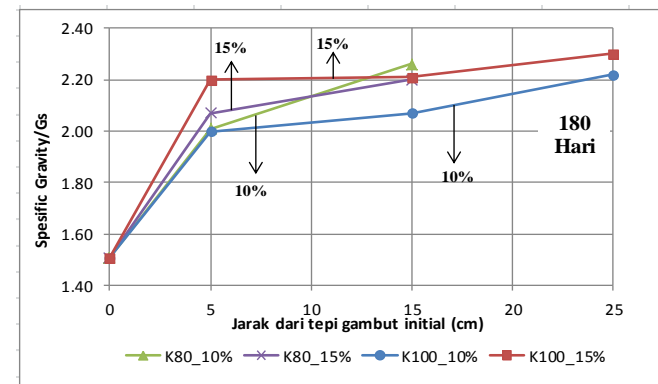
(a)



(b)

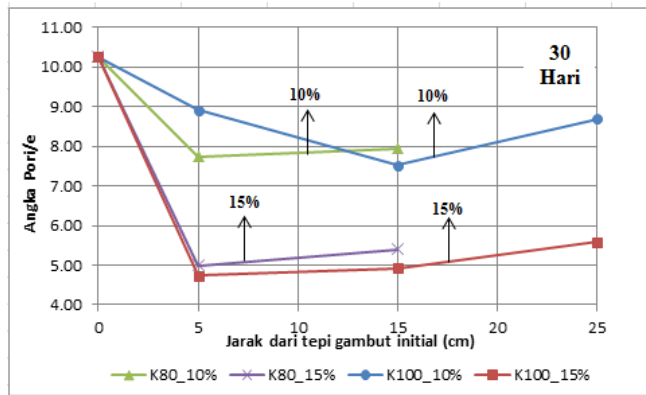


(c)

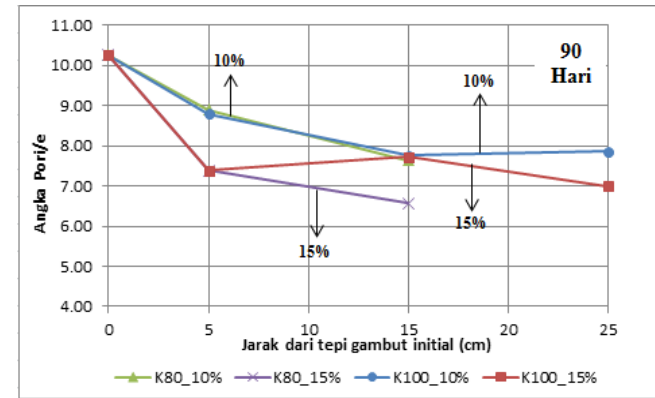


(d)

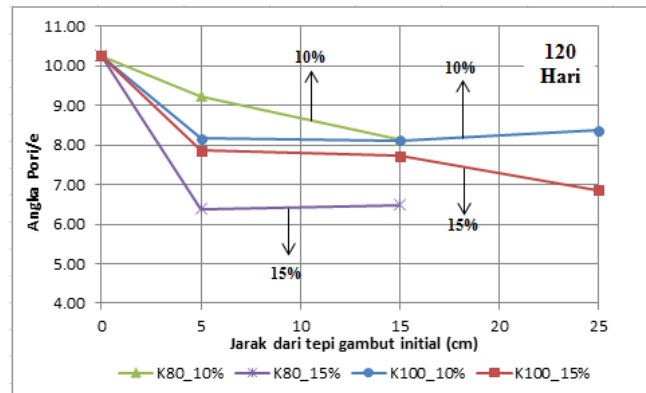
Gambar 4.11 Pengaruh jarak terhadap perilaku specific gravity (Gs) tanah gambut yang distabilisasi



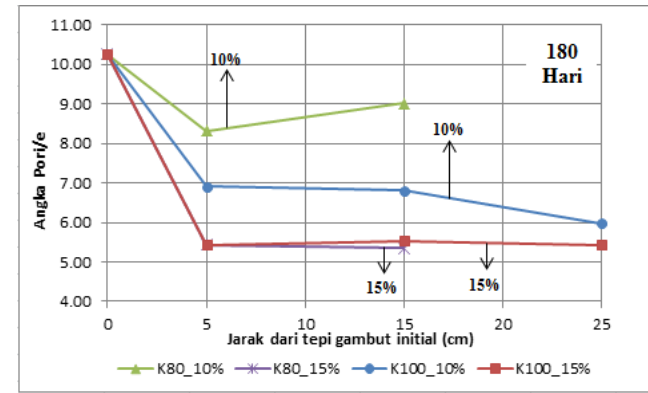
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.12 Pengaruh jarak terhadap perilaku angka pori (e) tanah gambut yang distabilisasi

terbentuk semakin baik dalam menutupi pori dan membungkus serat gambut yang distabilisasi (Gambar 4.3). Namun, pada usia 30 hari semakin jauh jarak gambut yang distabilisasi nilai e semakin membesar. Hal ini diakibatkan perubahan pori yang cepat di bagian terdekat dengan gambut initial menyebabkan filtrasi air di jarak 15 dan 25 cm cukup sulit sehingga volume air yang berkurang akibat reaksi pembentukan gel CaSiO_3 tidak sebanding dengan volume air yang mengisi makropori yang kosong (Gambar 4.12a).

Saat usia stabilisasi 90 hari pengaruh jarak mulai terlihat (Gambar 4.12b), meskipun nilai e pada gambut yang distabilisasi dengan 15% admixture mengalami sedikit kenaikan. Hal ini disebabkan pembentukan gel yang membutuhkan konsumsi air lebih besar mengakibatkan ruang pori yang terbentuk semakin banyak sedangkan filtrasi air dari sekitarnya untuk mengisi ruang pori cukup lambat. Perilaku ini dapat dilihat dari nilai w_c nya yang cenderung konstan pada usia 90 hari (4.9b) bahkan γ_t pada usia yang sama untuk jarak yang sama menunjukkan penurunan (Gambar 4.9b) yang memperkuat pernyataan bahwa pada gambut yang distabilisasi dengan 15% admixture terbentuk ruang pori yang lebih besar karena kebutuhan air juga lebih besar.

Pertumbuhan gel CaSiO_3 mulai terlihat lebih stabil ketika usia stabilisasi mencapai 120 hari (Gambar 4.12c). Perilaku ini dapat diketahui dari perubahan nilai e yang cenderung konstan untuk semua jarak dan model fisik dibandingkan usia stabilisasi sebelumnya (90 hari). Kecenderungan nilai e yang lebih stabil pada usia 120 hari juga diakibatkan perilaku parameter fisik lainnya (w_c , γ_t dan G_s) yang mempunyai kecenderungan yang sama pada usia stabilisasi 120 hari.

Ketika usia stabilisasi mencapai 180 hari (Gambar 4.12c), nilai pori untuk semua kondisi kembali mengecil dan mempunyai perilaku yang cenderung sama terutama pada model gambut K-100 kecuali angka pori pada gambut K-80 yang distabilisasi dengan 10% admixture. Hal ini semakin memperkuat dugaan sebelumnya bahwa pada usia 180 hari gel sudah mulai stabil dan mulai mengkristal. Sedangkan pada gambut K-80 yang distabilisasi dengan 10%

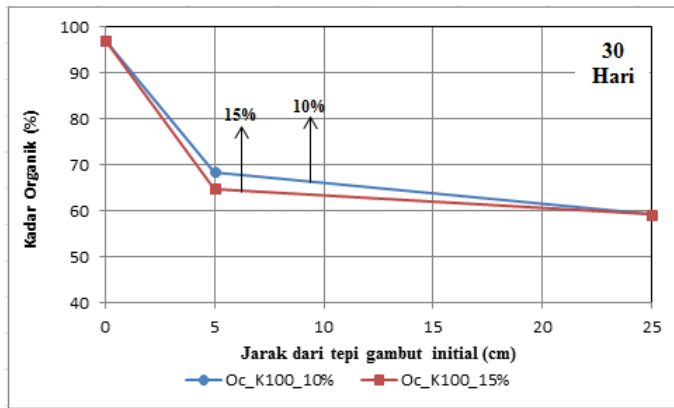
admixture terjadi kondisi yang tidak semestinya dimana pada jarak 15cm pori membesar. Hal ini dimungkinkan area stabilisasi yang lebih kecil sehingga mudah dipengaruhi oleh filtrasi air mengakibatkan proses difusi pada gel terjadi (Fick, 1992; Toyukura, 1982) sehingga pori membesar (Gambar 4.5).

5. Kadar Organik (Oc) dan Kadar Abu (Ac).

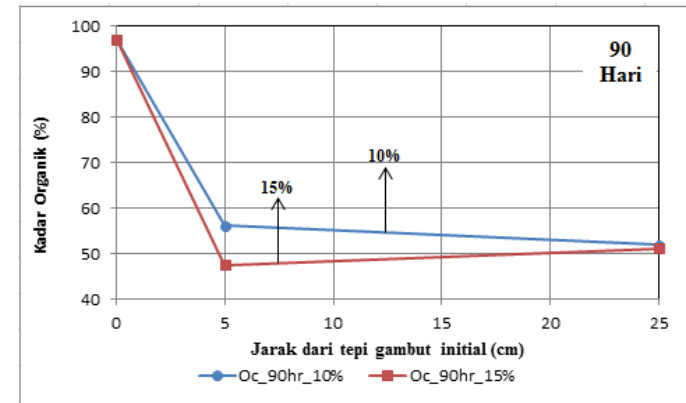
Pengujian kadar organik (Oc) dan kadar abu (Ac) hanya dilakukan pada model fisik K-100 (area stabilisasi 50 cm) dan hal ini sudah dapat mewakili kondisi model lainnya (K-80). Selain melalui pengujian SEM EDX, indikasi pembentukan gel CaSiO_3 dapat diketahui dari menurunnya nilai Oc dan meningkatnya butiran solid gambut yang distabilisasi dari nilai Ac nya (Gambar 4. 13 dan 4.14). selain harga Gs yg meningkat di awal usia stabilisasi, indikasi gambut terkotaminasi mineral dapat diketahui dari penurunan Oc yang cukup besar (Gambar 4.13a). Karena pembentukan gel masih diawal stabilisasi perbedaan Oc antara gambut yang distabilisasi dengan 10% dan 15% admixture tidak terlalu besar. Namun, pengaruh jarak sudah mulai terlihat dengan semakin kecilnya Oc dengan bertambahnya jarak meskipun perbedaan yang terjadi dengan bagian terdekat masih kecil.

Perlambatan pertumbuhan gel CaSiO_3 juga bisa dilihat dari perilaku Oc pada usia 90 hari (Gambar 4.13b). Kurva terhadap jarak lebih landai pada gambut yang distabilisasi dengan 10% admixture bahkan pada gambut yang distabilisasi dengan 15% admixture Oc pada jarak 25 cm lebih tinggi dibandingkan jarak yang lebih dekat dengan gambut initial, meskipun secara keseluruhan nilai Oc lebih rendah dari sebelumnya (30 hari). Indikasi perlambatan pertumbuhan gel disebabkan oleh air dalam makropori gambut sudah banyak berkurang sedangkan filtrasi air mulai melambat akibat pori yang lebih kecil dari kondisi initial. Fenomena ini dikuatkan oleh kondisi w_c (Gambar 4.9b), γ_t (Gambar 4.10b) dan e (Gambar 4.12b) pada usia 90 hari dimana parameter tersebut cenderung menurun dibandingkan kondisi di usia stabilisasi 30 hari.

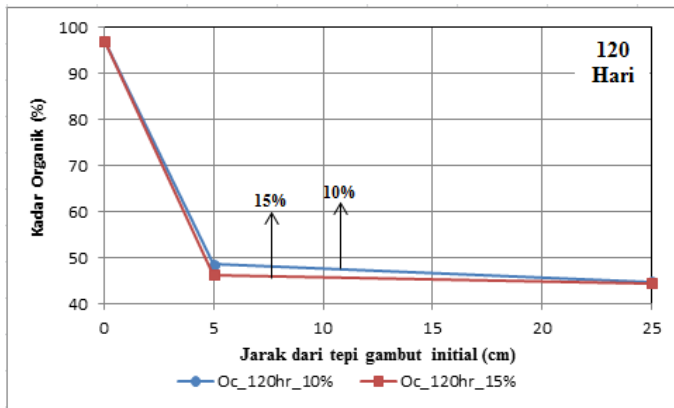
Ketika filtrasi air mulai mencapai pori yang kosong, gel CaSiO_3 kembali tumbuh. Hal ini dapat dilihat dari perilaku kurva Oc pada usia stabilisasi 120



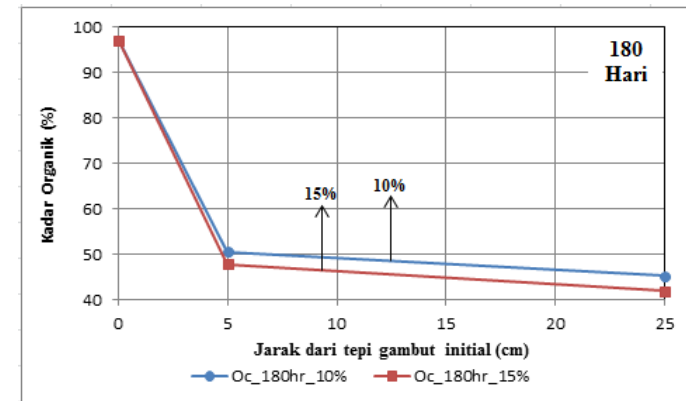
(a)



(b)

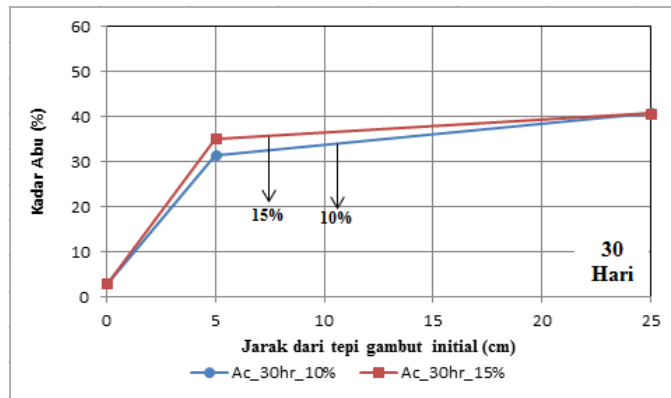


(c)

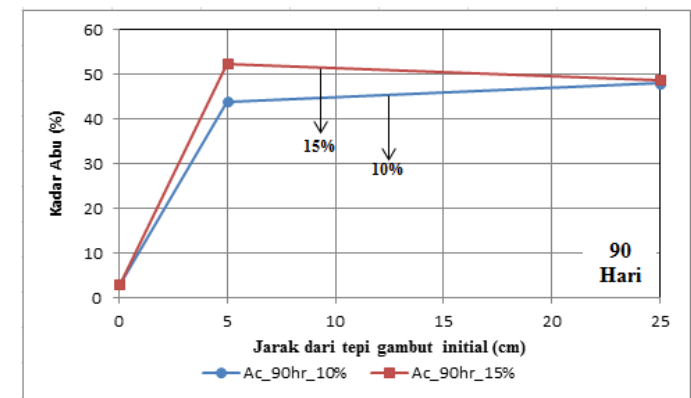


(d)

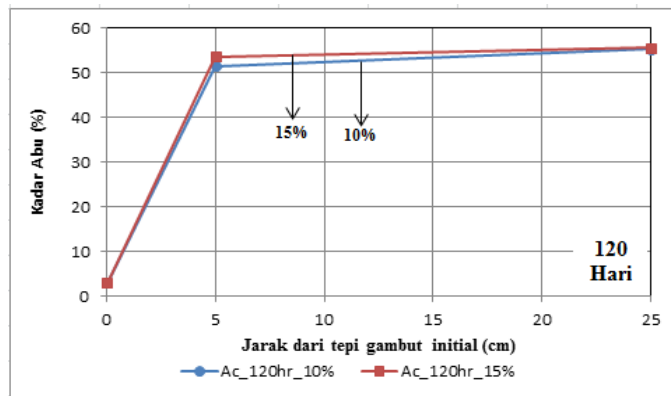
Gambar 4.13 Pengaruh jarak terhadap perilaku kadar organik (Oc) tanah gambut yang distabilisasi



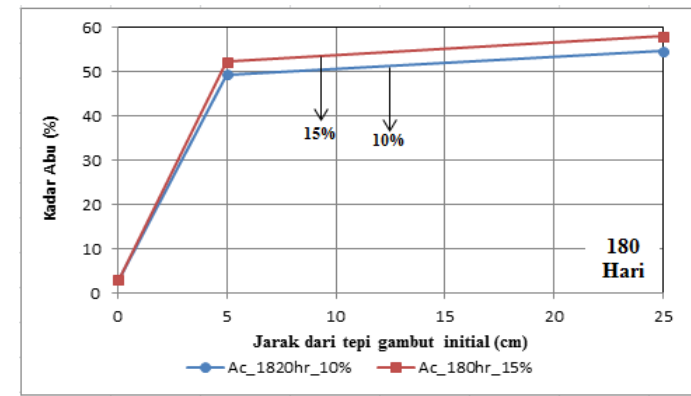
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.14 Pengaruh jarak terhadap perilaku kadar abu (Ac) tanah gambut yang distabilisasi

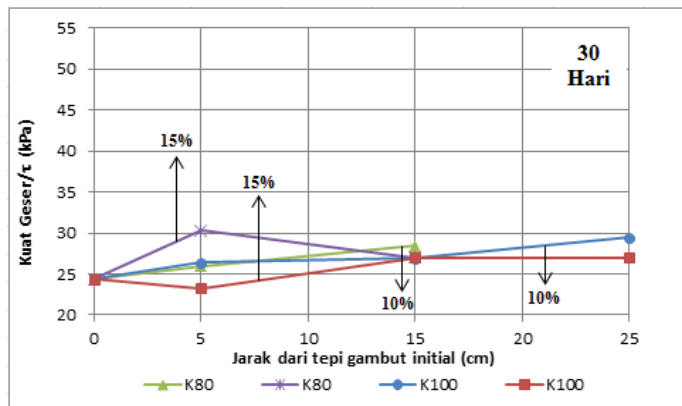
hari (Gambar 4.13c) yang semakin menurun dengan bertambahnya jarak dari tepi gambut initial. Saat pertumbuhan gel lebih stabil di usia stabilisasi 180 hari (Gambar 4.113d) pengaruh prosentase admixture dan jarak semakin terlihat. Perilaku ini juga dapat dilihat dari parameter lainnya yang mempunyai kecenderungan yang sama terhadap perbedaan prosentase admixture dan jaraknya. Dari gambar 4.11d juga diketahui bahwa proses kristalisasi gel CaSiO_3 juga mulai berlangsung karena Oc sudah berada dibawah 50%. Sedangkan tanah diklasifikasikan sebagai tanah organik jika Oc lebih besar dari 50% (USSR, 1982 dan ASTM 1985).

Penurunan nilai Oc pada tanah gambut yang distabilisasi secara otomatis akan meningkatkan kadar abu (Ac) gambut yang distabilisasi (Gambar 4.14). Hal ini disebabkan campuran kapur dan abu terbang yang membentuk gel menjadi butiran solid yang mengisi pori dan membungkus serat gambut. Sama halnya dengan perilaku Oc perubahan nilai Ac juga semakin baik dengan bertambahnya jarak dari gambut initial yang berarti gel lebih stabil. Karena jumlah admixture yang ditambahkan lebih besar maka nilai Ac gambut yang distabilisasi dengan 15% juga lebih besar dari gambut 10% terutama ketika usia stabilisasi mencapai 180 hari (Gambar 4.14d).

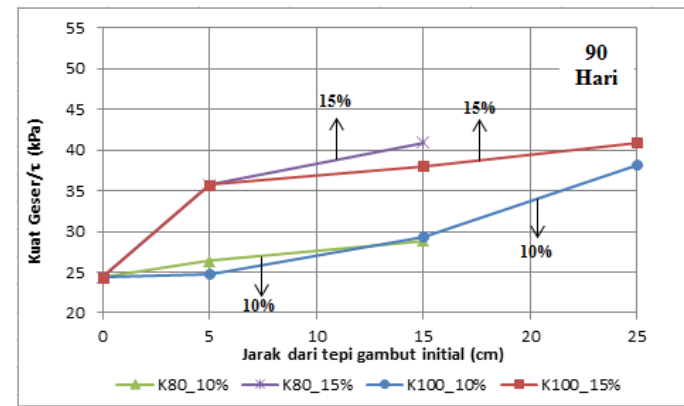
6. Kuat Geser (τ)

Perubahan pada Gs dan γt gambut yang distabilisasi tidak secara langsung meningkatkan kuat gesernya diawal usia stabilisasi (Gambar 4.15a), hal ini disebabkan gel yang terbentuk masih belum sempurna sehingga belum mampu menerima beban yang bekerja dengan baik. Peningkatan kuat geser di awal usia stabilisasi (30 hari) sangat kecil bahkan cenderung sama dengan kondisi initial. Saat usia stabilisasi 90 hari pengaruh jarak dan prosentase sangat terlihat yang membuktikan bahwa gel terus bereaksi untuk lebih stabil, perilaku ini juga diketahui dari nilai Ac (Gambar 4.14) yang terus meningkat dibandingkan usia 30 hari.

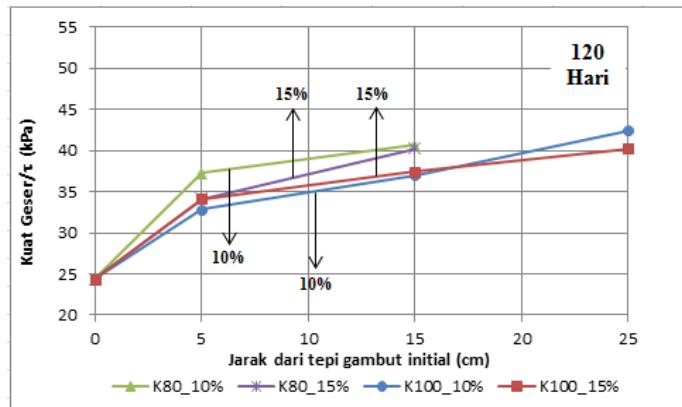
Karena kondisi air pada makropori gambut terus berkurang (Gambar 4.9c) nilai kuat geser antara gambut yang distabilisasi dengan 15% dan gambut yang distabilisasi dengan 10% admixture tidak mengalami perbedaan berarti karena



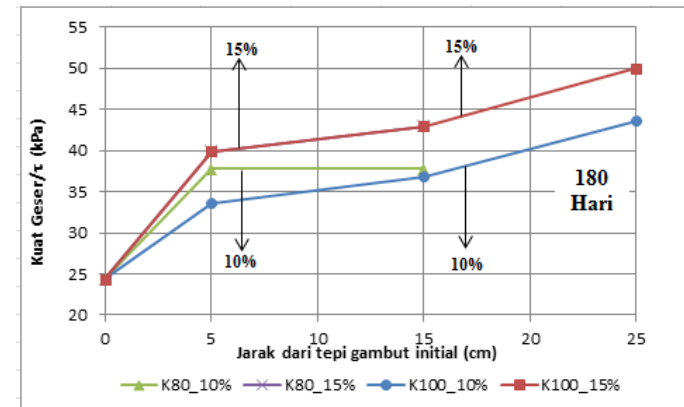
(a)



(b)



(c)



(d)

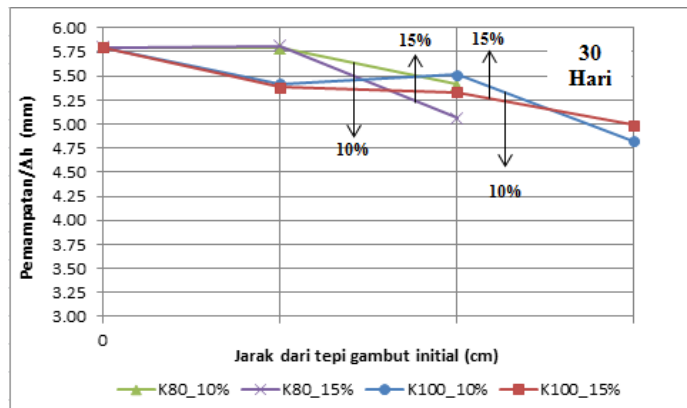
Gambar 4.15 Pengaruh jarak terhadap perilaku kuat geser (τ) tanah gambut yang distabilisasi

pembentukan gel CaSiO_3 sedikit melambat. Melambatnya pertumbuhan gel dapat juga diketahui dari nilai G_s dan nilai A_c gambut yang distabilisasi dengan 10% dan 15% admixture tidak mengalami perbedaan jauh, dari perilaku ini diketahui bahwa air dalam makropori sangat berpengaruh terhadap kondisi gel meskipun tidak terjadi dekomposisi serat gambut dan terlepasnya gel yang terbentuk. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Kujala dan Huttunen (1999), Mochtar, NE. dkk (2014) serta Yulianto dan Mochtar, NE. (2016).

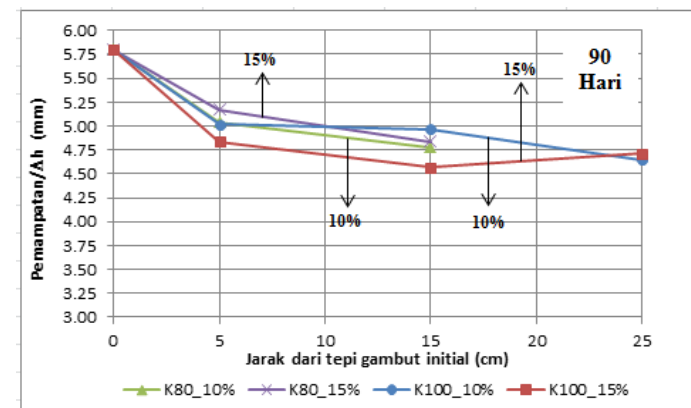
Pertumbuhan gel terlihat lebih stabil pada usia 180 hari dimana pengaruh jarak dan prosentase admixture yang diberikan terlihat jelas sehingga kuat geser yang dihasilkan pada usia 180 hari merupakan yang tertinggi dibandingkan usia stabilisasi sebelumnya. Hal ini membuktikan bahwa gel yang terbentuk sudah mulai mengkristal yang dibuktikan terus meningkatnya nilai G_s (Gambar 4.11c), A_c (Gambar 4.14c) dan menurunnya angka pori gambut yang distabilisasi (Gambar 4.12c).

7. Pemampatan (Δh)

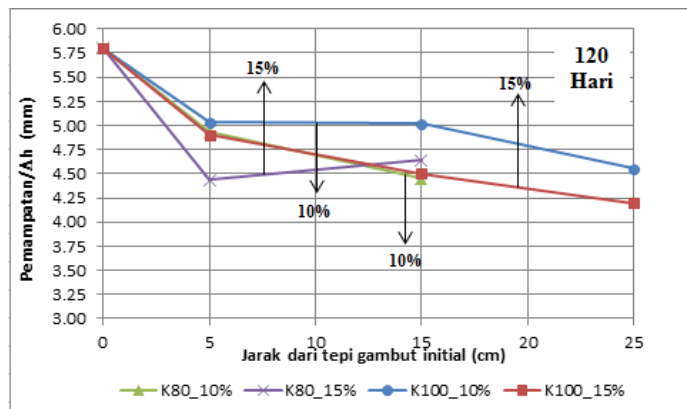
Gel CaSiO_3 yang mengisi pori dan membungkus serat gambut menyebabkan pori gambut berkurang (Gambar 4.12a) sehingga pemampatan yang terjadi lebih kecil dibandingkan kondisi initial (Gambar 4.16). Namun, pada usia 30 hari dimana nilai kuat geser masih kecil (Gambar 4.15a) dan nilai G_s belum meningkat signifikan (Gambar 4.11a), pemampatan yang terjadi masih cukup besar (Gambar 4.16a) karena gel yang baru terbentuk dan mengisi pori gambut belum sepenuhnya mampu menahan beban yang bekerja. Ketika nilai kuat geser (Gambar 4.15b), G_s (Gambar 4.11b) dan A_c (Gambar 4.14b) terus meningkat di usia 90 hari (Gambar 4.16b) pemampatan yang terjadi lebih kecil dengan bertambahnya jarak dari tepi gambut initial. Perilaku sedikit berbeda ditunjukkan oleh pemampatan pada jarak 25 cm untuk gambut yang distabilisasi dengan 15% dimana nilai pemampatannya justru lebih besar dibandingkan jarak 15cm, hal ini disebabkan oleh sampel yang diujikan merupakan bagian yang tidak tercampur admixture dengan baik menyebabkan pori lebih besar. Pada usia 120 hari, ketika pertumbuhan gel CaSiO_3 semakin



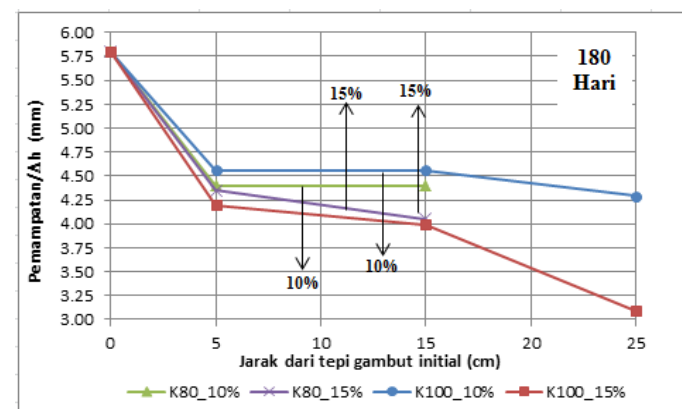
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.16 Pengaruh jarak terhadap perilaku pemampatan (Δh) tanah gambut yang distabilisasi

stabil {dilihat dari kurva γ_t (Gambar 4.10c), G_s (Gambar 4.11c), A_c (Gambar 4.14c) dan kuat geser (Gambar 4.15c)} pemampatan yang terjadi juga semakin kecil dibandingkan usia stabilisasi 90 hari dan pengaruh jarak serta prosentase yang dicampurkan semakin terlihat. Perilaku ini terus berlanjut ketika usia stabilisasi mencapai 180 hari dimana gel sudah mulai mengkristal terutama pada gambut yang distabilisasi dengan 15% admixture (Gambar 4.16d). Model K-80 dan K-100 menunjukkan kurva yang sama dan berhimpit untuk dua prosentase admixture yang dicampurkan. Perilaku kurva tersebut sangat dipengaruhi oleh kondisi gel yang terus membaik dimana nilai G_s di atas 2.20 (Gambar 4.11d), angka pori sekitar 5 (Gambar 4.12d) dan nilai A_c yang mencapai 55% (Gambar 4.14d) bahkan pada kondisi ini gambut yang distabilisasi dapat diklasifikasikan bukan sebagai tanah organik (ASTM, 1985; USSR 1982) karena nilai O_c nya (Gambar 4.11d) sudah dibawah 50%.

Dari penjelasan pada sub bab 4.3 ini diketahui bahwa pada usia stabilisasi (30 hari) gel sudah mulai terbentuk namun masih belum stabil. Pengaruh perbedaan admixture yang dicampurkan masih belum terlihat namun pengaruh jarak sudah mulai menunjukkan perbedaan terhadap parameter tanah gambut yang distabilisasi. Sampai dengan usia stabilisasi 120 hari gel yang terbentuk masih belum sepenuhnya stabil akibat suplai air dalam pori gambut yang melambat karena pori yang mengecil. Namun, ketika usia stabilisasi mencapai 180 hari pengaruh persentase admixture yang diberikan dan pengaruh jarak terhadap gambut initial sudah sangat terlihat. Perilaku sedikit berbeda ditunjukkan oleh model K-80 untuk gambut yang distabilisasi dengan 10% admixture. Perubahan parameter tanah gambut yang distabilisasi cenderung fluktuatif karena gel yang terbentuk sangat mudah dipengaruhi oleh filtrasi air dan persentase admixture yang dicampurkan belum mampu membentuk gel $CaSiO_3$ dengan baik.

4.4. Pengaruh Usia Stabilisasi pada Perilaku Tanah Gambut yang Distabilisasi Di Beberapa Titik Pengujian.

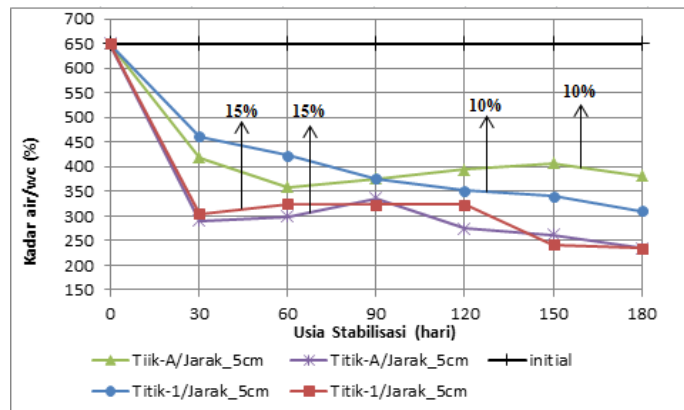
Perubahan sifat fisik dan teknis gambut yang distabilisasi juga dipengaruhi oleh usia stabilisasinya (Harwadi dan Mochtar, 2010; Mochtar, dkk, 2014). Dalam

subbab ini akan dijelaskan pengaruh usia stabilisasi terhadap perilaku sifat fisik dan teknis tanah gambut di beberapa titik pengujian untuk dua jenis model fisik laboratorium, yaitu Titik A dan B berjarak masing masing 5 cm dan 15 cm untuk model K-80 (lebar area stabilisasi 30 cm) serta Titik 1, Titik 2 dan Titik 3 berjarak masing-masing 5 cm, 15 cm dan 25 cm untuk model K-100 (lebar area stabilisasi 30 cm). Sedangkan sampel pada Titik-C (Jarak 5cm, Model K-80), Titik-4 (Jarak 15cm, Model K-100) dan Titik-5 (Jarak 15 cm, Model K-100) tidak dijelaskan perubahan perilakunya karena berdasarkan data laboratorium mempunyai sifat fisik dan teknis dengan Titik-A, Titik-2 dan Titik-1.

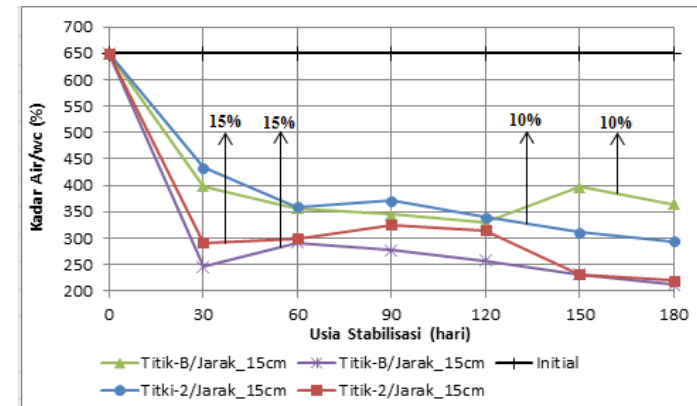
1. Kadar Air.

Pengaruh usia stabilisasi terhadap perubahan kadar air tanah gambut yang distabilisasi (wc) ditunjukkan oleh Gambar 4.17. Secara umum semakin bertambah usia stabilisasi nilai wc semakin menurun akibat pembentukan gel CaSiO_3 . Kurva perubahan wc juga menunjukkan perilaku yang hampir sama disetiap jarak pada semua model yang diujikan. Pada gambut yang distabilisasi dengan 15% admixture menunjukkan nilai wc yang lebih rendah dibandingkan wc pada gambut yang distabilisasi dengan 10% admixture hal ini wajar karena semakin besar prosentase admixture yang ditambahkan gel yang terbentuk semakin banyak (Gambar 4.3 sampai dengan Gambar 4.5).

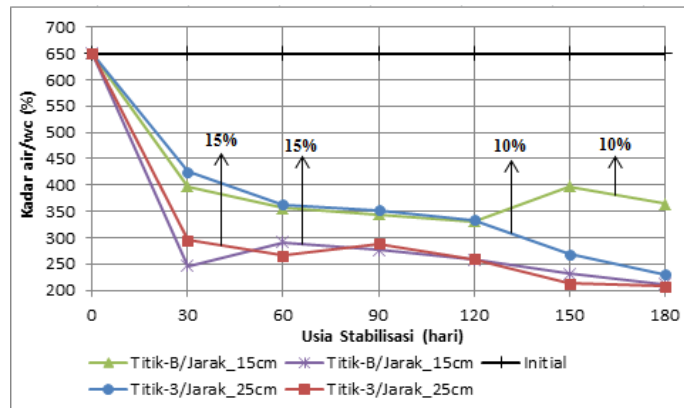
Perilaku wc pada jarak 5 cm untuk 4 sampel pengujian (titik-A/titik-1) menunjukkan perilaku sesuai prosentase admixture yang diberikan (Gambar 4.17a). Saat usia stabilisasi 30 hari wc menurun drastis akibat pembentukan gel yang berlangsung cepat, Namun ketika pori gambut mulai tertutupi oleh gel yang terbentuk (Gambar 4.3) perubahan nilai wc yang terjadi cukup kecil akibat filtrasi air dari sekitarnya mulai melambat karena makropori yang lebih kecil dari kondisi sebelumnya (Gambar 4.12). Kurva perubahan wc setelah usia stabilisasi di atas 30 hari menjadi fluktuatif sampai dengan usia stabilisasi 120 hari. Perilaku ini disebabkan oleh kondisi air dalam pori gambut yang sangat berkurang sementara air yang berasal dari filtrasi air sekitarnya cukup lambat mencapai pori yang mulai kosong sedangkan gel yang terbentuk masih memerlukan air yang cukup untuk tumbuh (Toyukura, 1982). Nilai wc



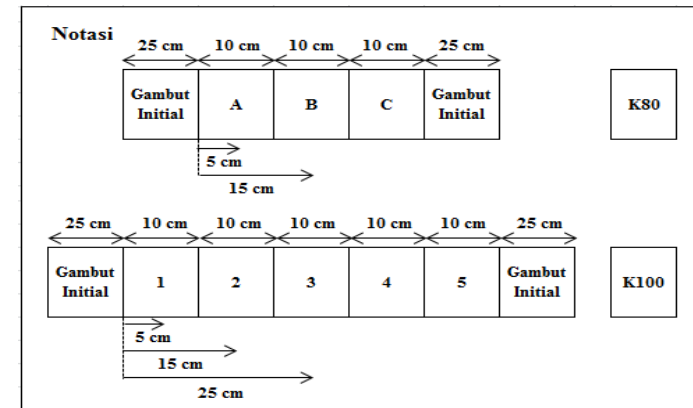
(a)



(b)



(c)



Gambar 4.17 Perilaku kadar air (wc) tanah gambut yang distabilisasi di beberapa titik pengujian.

cenderung konstan saat usia stabilisasi diatas 120 hari menunjukkan gel yang terbentuk mulai stabil. Perilaku sedikit berbeda ditunjukkan oleh sampel pada jarak 5 cm (titik-A) untuk model K-80 gambut yang distabilisasi dengan 10% admixture dimana w_c sedikit meningkat setelah usia stabilisasi 30 hari meskipun terjadi penurunan pada usia 180 hari, hal ini disebabkan model K-80 mempunyai lebar area stabilisasi yang kecil sehingga filtrasi air sangat mudah mempengaruhi pertumbuhan gel CaSiO_3 serta jumlah admixture yang lebih sedikit menyebabkan gel yang terbentuk lebih mudah mengalami difusi (Fick, 1992). Fenomena tersebut tidak terjadi pada sampel yang berjarak 5 cm (titik-A) untuk gambut yang distabilisasi dengan 15% admixture karena prosentase admixture yang ditambahkan lebih besar dan gel yang terbentuk lebih banyak (Gambar 4.3) sehingga kondisi gel lebih stabil jika dipengaruhi filtrasi air dari sekitarnya.

Perilaku kurva w_c untuk sampel pada jarak 15 cm (titik-B/titik-2) dari tepi gambut initial (Gambar 4.17b) menunjukkan perilaku yang hampir sama dengan kurva sampel berjarak 5 cm (Gambar 4.17a). Pada usia stabilisasi 30 hari sampai dengan 120 hari kondisi gel masih fluktuatif akibat filtrasi air yang masih dapat mempengaruhi pertumbuhan gel CaSiO_3 . Hanya saja nilai w_c pada jarak 15 cm lebih rendah dibandingkan w_c pada jarak 5 cm karena filtrasi air lebih sulit menjangkau pori gambut yang distabilisasi. Hal ini dapat dilihat dari nilai w_c pada usia stabilisasi 180 hari. Hal yang terpenting dalam perubahan w_c gambut yang distabilisasi adalah pengaruh besar prosentase yang dicampurkan lebih signifikan dibandingkan pengaruh jarak akibat filtrasi air.

Pada sampel yang berada di bagian tengah area stabilisasi (titik-B model K-80 dan titik-3 model K-100) perubahan nilai w_c lebih stabil (Gambar 4.17c) dibandingkan sampel yang berjarak 5cm dan 15cm. selain itu, dari Gambar 4.17c dapat diketahui bahwa nilai w_c terendah dicapai ketika usia stabilisasi 180 hari dibandingkan sampel lainnya. Dari Gambar 4.17c juga diketahui bahwa sampel pada titik-B model K-80 mempunyai perilaku yang tidak sama akibat filtrasi air dari kedua sisinya sehingga proses difusi terjadi pada gel yang

terbentuk yang mengakibatkan ruang pori kembali membesar seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.5.

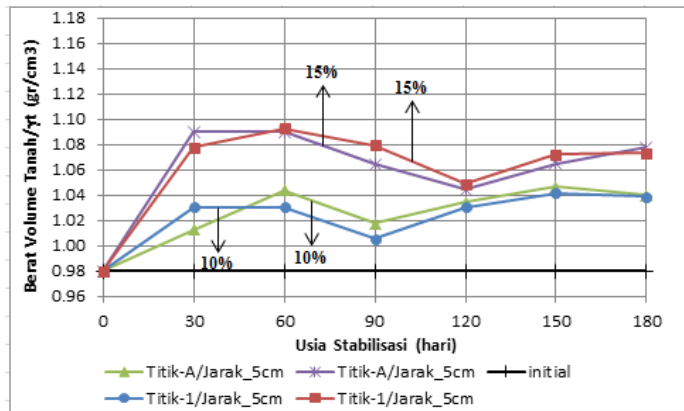
2. Berat Volume Tanah (γ_t)

Berat volume tanah (γ_t) gambut yang distabilisasi meningkat pada awal usia stabilisasi akibat bertambahnya butiran solid dari admixture yang ditambahkan (Gambar 4.18). Sama halnya dengan kurva w_c perilaku kurva γ_t mempunyai Kurva dengan perilaku yang mirip. Nilai γ_t pada sampel yang berjarak 5 cm (titik-A/titik-1) dari tepi gambut initial menunjukkan peningkatan γ_t saat awal usia stabilisasi terutama pada awal usia stabilisasi (Gambar 4.18a). Ketika pori gambut sedikit mengecil (usia stabilisasi 30-60 hari) terutama pada gambut 15% admixture (Gambar 4.12) nilai γ_t mulai menurun karena ruang pori sedikit kosong diakibatkan air dalam makro pori digunakan untuk pembentukan gel CaSiO_3 . Peningkatan γ_t kembali terjadi setelah usia stabilisasi 90 hari untuk gambut dengan 10% admixture dan 120 hari untuk gambut yang distabilisasi dengan 15% admixture yang mengindikasikan pori gambut kembali terisi oleh air dari sekitarnya. Perbedaan waktu peningkatan γ_t menunjukkan bahwa gambut yang distabilisasi dengan 15% admixture memerlukan waktu yang lebih lama karena gel yang terbentuk juga semakin banyak.

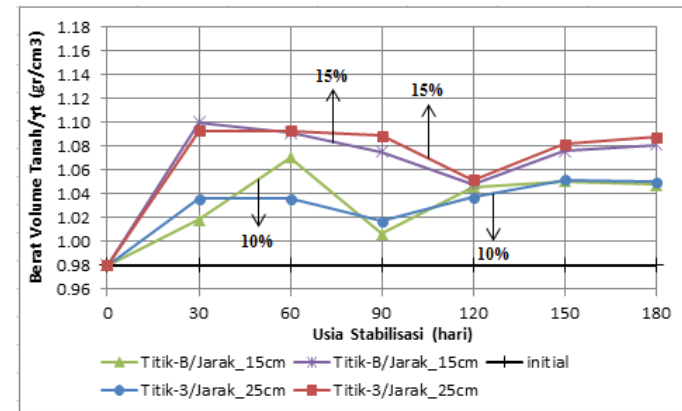
Kurva γ_t pada sampel yang berjarak 15 cm (titik-B/titik-2) dari tepi gambut initial (Gambar 4.18b) mempunyai perilaku yang sama dengan kurva yang berjarak 5cm. begitu pula dengan perilaku kurva γ_t untuk sampel pada bagian tengah area stabilisasi (Gambar 4.18b). Hanya saja, pada perilaku perubahan γ_t juga menunjukkan bahwa nilai γ_t untuk gambut yang distabilisasi 10% mempunyai perilaku yang lebih fluktuatif (terutama untuk model K-80) yang menguatkan pernyataan sebelumnya bahwa gel yang terbentuk masih sangat mudah dipengaruhi oleh filtrasi air dari sekitarnya.

3. Specific Gravity (G_s)

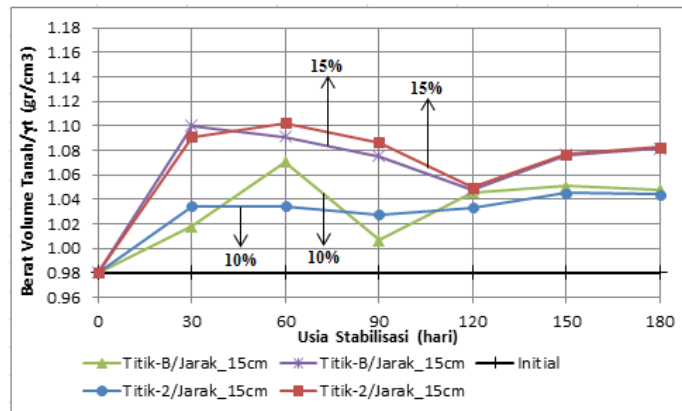
Seperti halnya nilai w_c dan γ_t , perilaku perubahan specific gravity (G_s) juga masih berubah ubah sampai usia stabilisasi 120 hari akibat pembentukan gel yang belum stabil (Gambar 4.19). Kurva G_s pada sampel yang berjarak



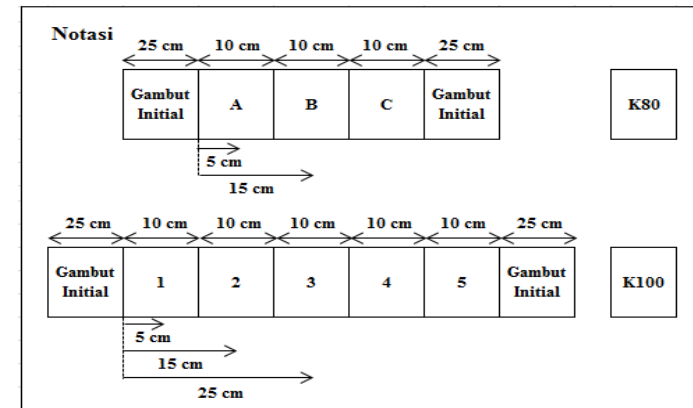
(a)



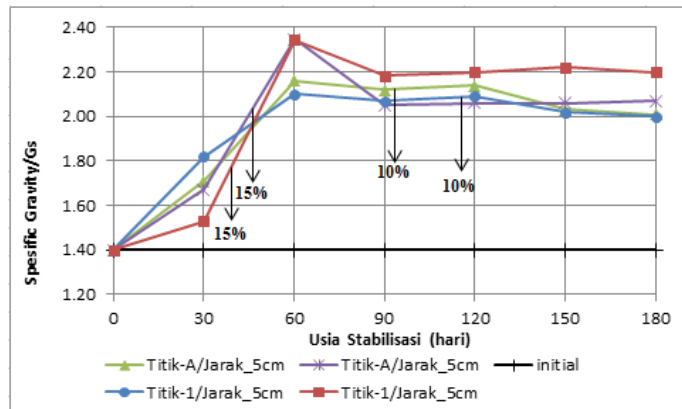
(b)



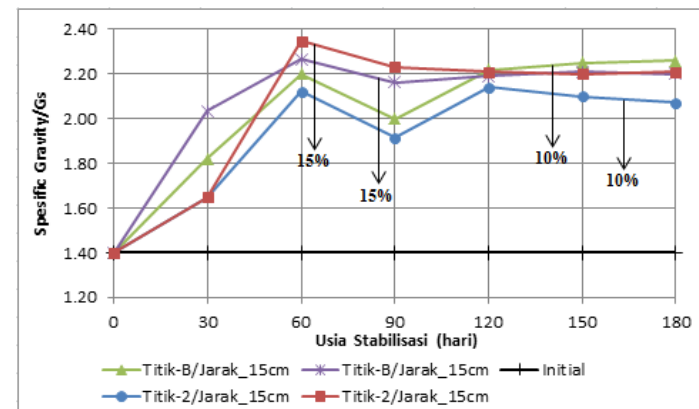
(c)



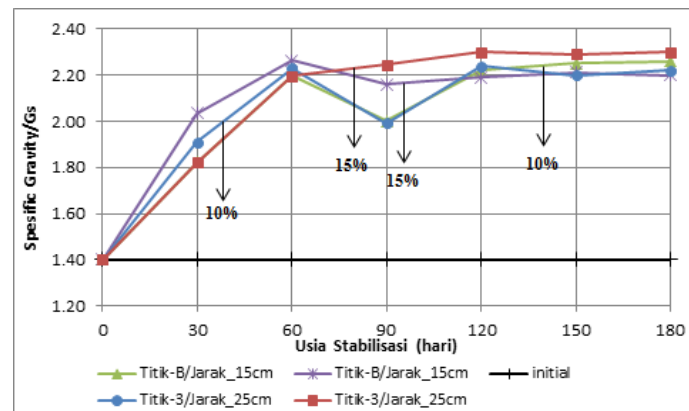
Gambar 4.18 Perilaku berat volume tanah (γ_t) tanah gambut yang distabilisasi di beberapa titik pengujian.



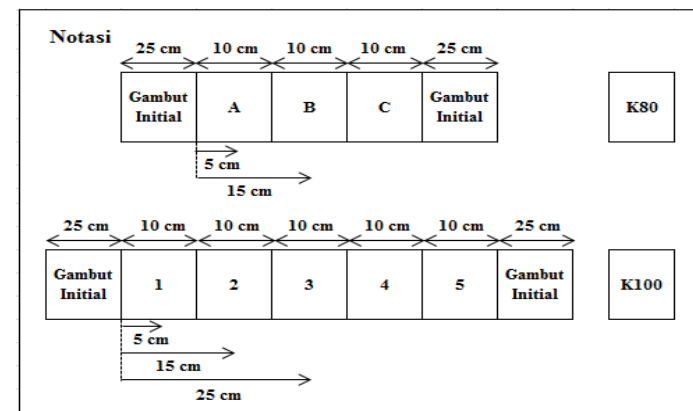
(a)



(b)



(c)



Gambar 4.19 Perilaku specific gravity (Gs) tanah gambut yang distabilisasi di beberapa titik pengujian.

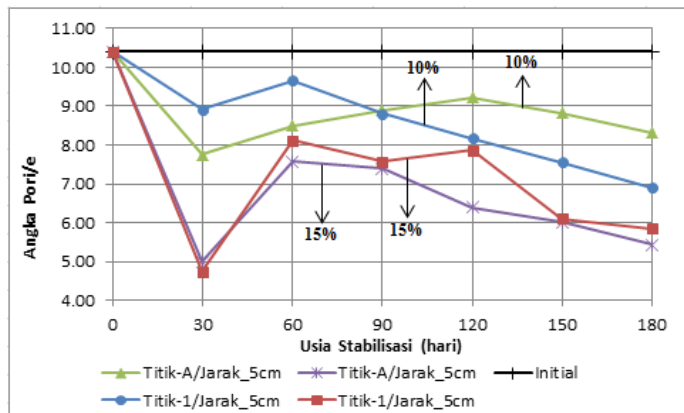
5 cm (titik-A/titik-1) meningkat cepat pada awal usia stabilisasi sebagai indikasi bahwa gel terbentuk sangat cepat diawal usia stabilisasi yang juga berdampak pada nilai w_c (Gambar 4.17) dan γ_t (Gambar 4.18) gambut yang distabilisasi. Ketika usia stabilisasi di atas 120 hari dimana gel sudah mulai stabil, nilai G_s untuk gambut yang distabilisasi 10% mengalami penurunan sampai pada nilai 2.0 pada usia stabilisasi. Hal ini disebabkan oleh proses difusi pada gel $CaSiO_3$ yang terbentuk (fick, 1992) sehingga menyebabkan gel yang telah terbentuk kembali terlarut. Proses ini akan terjadi apabila gel yang ada tidak terbentuk dengan baik (Toyukura, 1982) sehingga sangat sensitif terhadap filtrasi air akibat perbedaan kejenuhan yang terjadi antara gambut yang distabilisasi dengan gambut initial.

Pada sampel yang berjarak 15 cm dari gambut initial (Gambar 4.19c) tidak mengalami perubahan perilaku nilai G_s nya dimana kurva G_s mulai stabil ketika usia di atas 120 hari. Perilaku sedikit berbeda ditunjukkan oleh G_s pada jarak 15 cm (titik-2) untuk model K-100 dimana nilai G_s nya sedikit menurun setelah usia stabilisasi 120 hari. Perilaku ini dimungkinkan karena filtrasi air terdekat (jarak 15 cm) hanya dari satu sisi maka air dalam pori gambut lebih sedikit dibandingkan sampel gambut pada jarak 15 cm/titik-B model K-80 (Gambar 4.17b) yang mengalami filtrasi air dari kedua sisinya, sehingga menyebabkan gel kurang suplai air dan penyusutan gel dimungkinkan terjadi (Igles dan Metcalf, 1979).

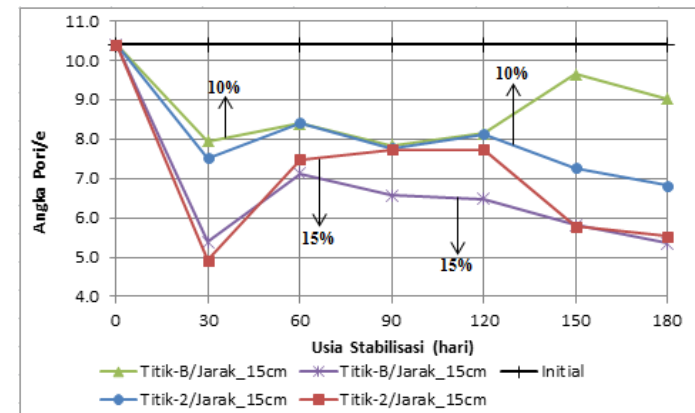
Nilai G_s pada bagian tengah area yang distabilisasi (titik-B/titik-3) juga mempunyai perilaku kurva yang sama dengan sampel lainnya (Gambar 4.19c) dimana pada usia di atas 120 hari nilai G_s cenderung stabil akibat pembentukan gel yang suda mulai mengkristal. Gambar 4.19c juga menunjukkan bahwa G_s lebih stabil apabila kondisi air dalam pori mencukupi (Gambar 4.17c) untuk pembentuk gel dan gambut yang distabilisasi dengan 15% admixture mempunyai kecenderungan nilai G_s yang lebih baik dibandingkan G_s gambut yang distabilisasi dengan 10% admixture.

4. Angka Pori (e)

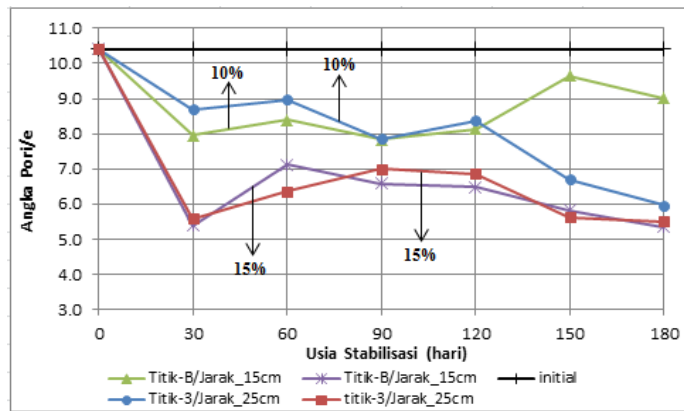
Pertumbuhan gel CaSiO_3 mampu mengurangi angka pori (e) gambut yang distabilisasi sekitar 50% dari kondisi awal (Gambar 4.20). Pada sampel yang berjarak 5 cm (titik-A/titik-1) dari tepi gambut initial (Gambar 4.20a) pori gambut menurun drastis (terutama gambut yang distabilisasi dengan 15% admixture) akibat gel tumbuh dengan cepat ketika kondisi air pori masih cukup perilaku ini sesuai dengan nilai w_c (Gambar 4.17a) dan G_s (Gambar 4.19a). Saat usia stabilisasi 60 hari nilai e kembali meningkat disebabkan banyak air dalam pori gambut digunakan untuk pembentukan gel sementara filtrasi air melambat akibat ruang pori yang mengecil dan volume air yang digunakan masih lebih banyak dari air yang kembali mengisi ruang pori gambut. Hal ini dapat dilihat dari kondisi air (w_c) yang cenderung konstan dalam pori gambut (Gambar 4.17a). Namun, angka pori kembali mengecil saat kondisi air dalam pori terus konstan (Gambar 4.17a) yang menandakan gel terus tumbuh (Gambar 4.14) dan menutupi pori gambut. Perilaku berbeda ditunjukkan oleh nilai e pada jarak 5cm/titik-A model K-80, dimana pori terus membesar sampai usia 120 hari serta mempunyai pori yang paling besar diantara sampel lainnya. Hal ini disebabkan lebar area stabilisasi yang kecil (30 cm) sehingga filtrasi air dapat terjadi dari dua sisinya menyebabkan proses difusi terjadi (Fick, 1992). Kondisi ini sesuai dengan nilai w_c nya (Gambar 4.17a). perilaku nilai e pada sampel yang berjarak 15 cm (titik-B/titik-2) mempunyai trend kurva yang hampir sama. Hanya saja pada sampel yang berjarak 15 cm (titik-2) model K-100, angka pori membesar sampai dengan usia stabilisasi 120 hari. Perilaku ini disebabkan oleh kondisi sampel yang tidak merata menyebabkan gel tidak mampu menutupi ruang pori dengan baik dan mengalami pertumbuhan lebih lambat dibandingkan lainnya (Souliman, 2011; Mullin, 1982). Saat usia stabilisasi mencapai 180 hari, pori terkecil terjadi pada gambut yang distabilisasi dengan 15% admixture yang menunjukkan gel yang tumbuh mampu dengan baik menutupi pori dan membungkus serat gambut (Gambar 4.5), bahkan pori pada jarak 15cm/titik-A merupakan nilai pori terbesar yang memperkuat analisa sebelumnya bahwa stabilitas gel yang terbentuk sangat



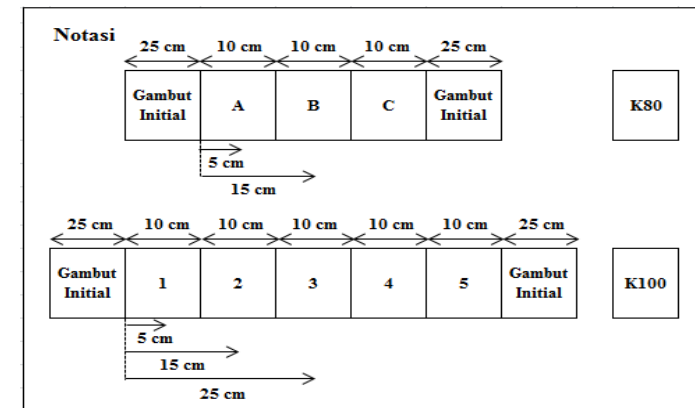
(a)



(b)



(c)



Gambar 4.20 Perilaku angka pori (e) tanah gambut yang distabilisasi di beberapa titik pengujian.

dipengaruhi oleh prosentase admixture yang dicampurkan (Mullin, 1982) meskipun nilai G_s nya di atas 2 (Gambar 4.19b). Kurva perubahan nilai e nampak lebih stabil ketika filtrasi air lebih minimal mempengaruhi pertumbuhan gel CaSiO_3 (gambar 4.20c). bahkan nilai e untuk 3 sampel (kecuali jarak 5 cm/titik-A yang mengalami difusi) konstan setelah usia 150 hari. Hal ini membuktikan bahwa pembentukan gel akan sangat baik jika prosentase yang dicampurkan dan kondisi air pori mencukupi.

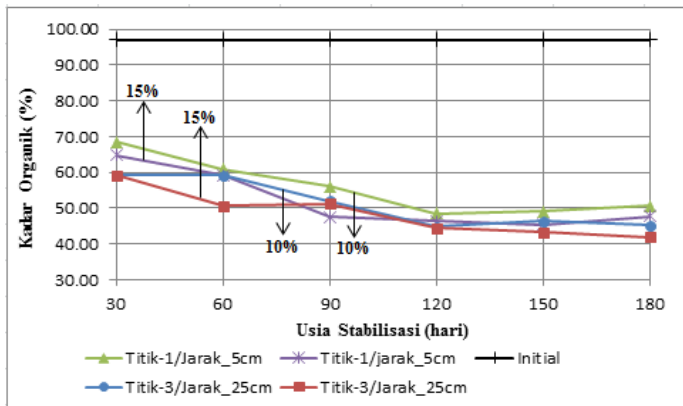
5. Kadar Organik (Oc) dan Kadar Abu (Ac)

Penambahan admixture menyebabkan kandungan organik (Oc) menurun drastis sampai dengan usia stabilisasi 120 hari (Gambar 4.21a). Perilaku ini memperjelas kondisi pertumbuhan gel CaSiO_3 yang mulai stabil ketika usia stabilisasi diatas 120 hari. Hal ini juga didukung oleh kondisi nilai G_s nya yang cenderung konstan saat usia stabilisasi di atas 120 hari (Gambar 4.19c). Penurunan nilai Oc secara otomatis akan meningkatkan kadar abu (Ac) gambut yang distabilisasi (Gambar 4.21b) sama halnya dengan kurva Oc perubahan kurva Ac mulai stabil ketika usia stabilisasi 120 hari.

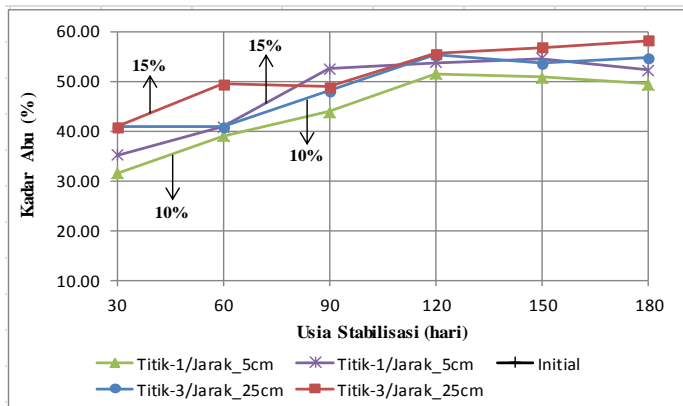
Dari Gambar 4.21 diketahui bahwa nilai Oc dan Ac terbaik diperoleh ketika gel berada pada jarak 25 cm (titik-3) model K-100 pada gambut yang distabilisasi dengan 15% admixture. Hal ini disebabkan pengaruh filtrasi air dari sekitarnya sudah minimal sehingga pertumbuhan gel berjalan dengan baik. Perilaku sebaliknya ditunjukkan oleh sampel yang berjarak 5 cm (titik-A) model K-80 dimana nilai Oc maupun Ac merupakan yang terendah akibat gel pada sampel tersebut terus dipengaruhi oleh filtrasi air dari kedua sisinya. Namun, perilaku tersebut tidak terjadi pada sampel dengan jarak dan model yang sama karena prosentase admixture yang diberikan lebih besar menyebabkan kondisi gel lebih stabil.

5. Kuat Geser (τ)

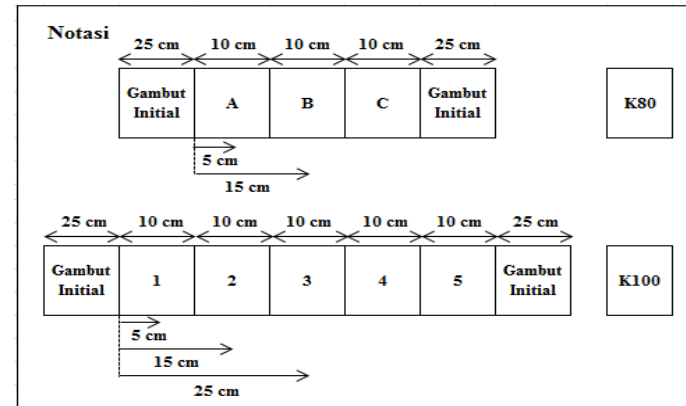
Nilai kuat geser (τ) secara umum meningkat dengan bertambahnya usia stabilisasi (Gambar 4.22) akibat gel yang terbentuk mengisi pori dan membungkus serat gambut, hal ini didukung oleh nilai G_s yang meningkat cukup besar (Gambar 4.20), nilai Oc yang menurun drastis serta nilai Ac yang



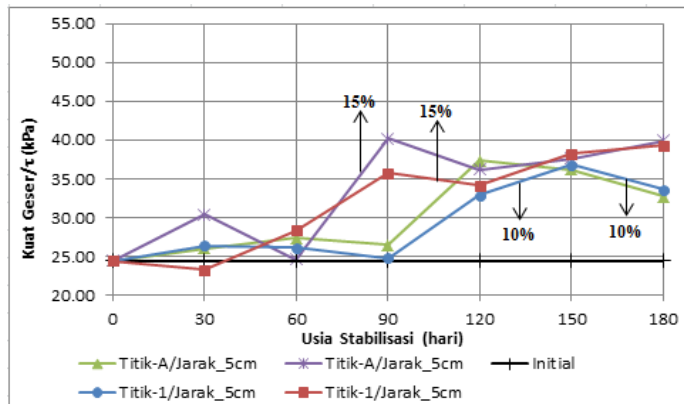
(a)



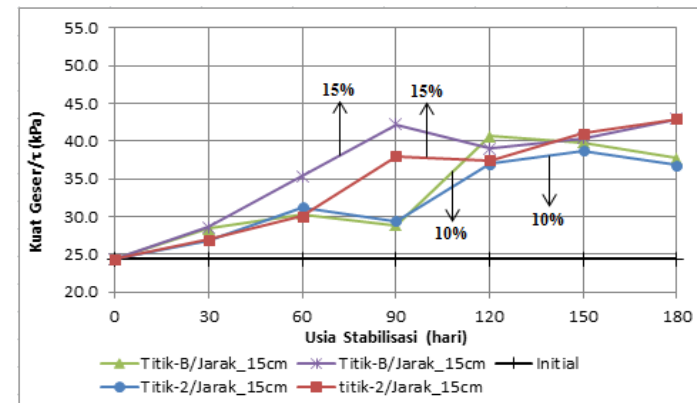
(b)



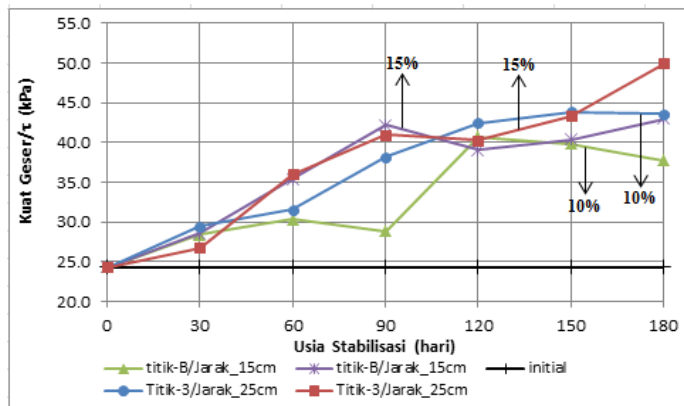
Gambar 4.21 Perilaku kandungan organik (Oc) dan kandungan abu (Ac) tanah gambut yang distabilisasi di beberapa titik pengujian.



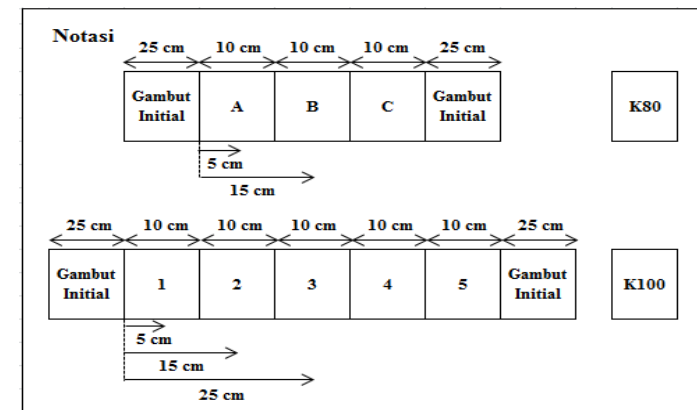
(a)



(b)



(c)



Gambar 4.22 Perilaku kuat geser (τ) tanah gambut yang distabilisasi di beberapa titik pengujian.

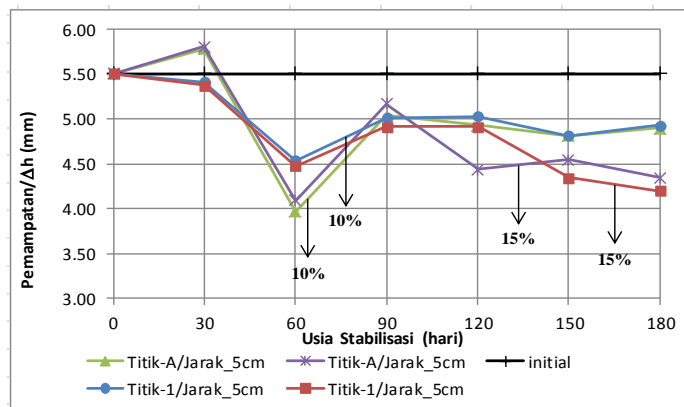
meningkat besar (Gambar 4.21). Meskipun nilai G_s (gambar 4.20) meningkat cepat diawal usia stabilisasi tetapi nilai τ gambut yang distabilisasi masih rendah pada sampel yang berjarak 5 cm untuk semua model (Gambar 4.22a). Peningkatan nilai τ melambat akibat gel sangat mudah dipengaruhi oleh filtrasi air dari sekitarnya terutama untuk gambut yang distabilisasi dengan 10% admixture. Bahkan, pada usia stabilisasi 180 nilai τ gambut yang distabilisasi dengan 10% admixture menurun kembali akibat proses difusi yang menyebabkan gel terlarut kembali, hal ini juga dapat dilihat dari nilai γ_t (gambar 4.17a) pada usia stabilisasi yang sama.

Pada jarak 15 cm (titik-B/titik-2) dari gambut initial nilai τ sudah mulai meningkat saat awal usia stabilisasi (30 hari) akibat filtrasi air tidak sebesar sampel pada jarak 5 cm (Gambar 4.22b). Perilaku kurva pada sampel yang berjarak 15 cm juga masih fluktuatif sampai dengan usia stabilisasi 120 hari terutama pada gambut yang distabilisasi dengan 10% admixture karena gel yang tidak stabil (Mullin, 1982). Bahkan pada usia stabilisasi 180 hari nilai τ masih kembali menurun yang dimungkinkan oleh proses difusi (Fick, 1992). Sedangkan pada gambut yang distabilisasi dengan 15% admixture nilai τ masih terus meningkat sampai dengan usia stabilisasi 180 hari karena prosentase admixture yang lebih besar membuat gel yang terbentuk lebih stabil.

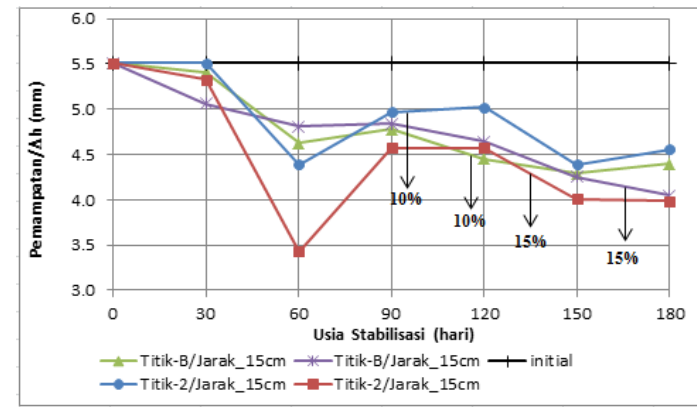
Sama seperti halnya perilaku nilai τ pada jarak 15 cm (titikB/titik-2), perubahan nilai τ pada bagian tengah gambut yang distabilisasi (titik-B/titik-3) meningkat mulai dari awal usia stabilisasi bahkan nilai τ cenderung lebih konstan terutama pada sampel yang berjarak 25 cm (titik-3) model K-100 karena filtrasi air sudah minimal. Sedangkan pada sampel berjarak 15 cm (titik-B) model K-80, nilai τ masih cukup fluktuatif terutama pada gambut dengan 10% admixture. Perilaku ini menunjukkan bahwa filtrasi air sangat mempengaruhi nilai τ geser gambut yang distabilisasi terutama pada area stabilisasi 30 cm (K-80)

6. Pemampatan

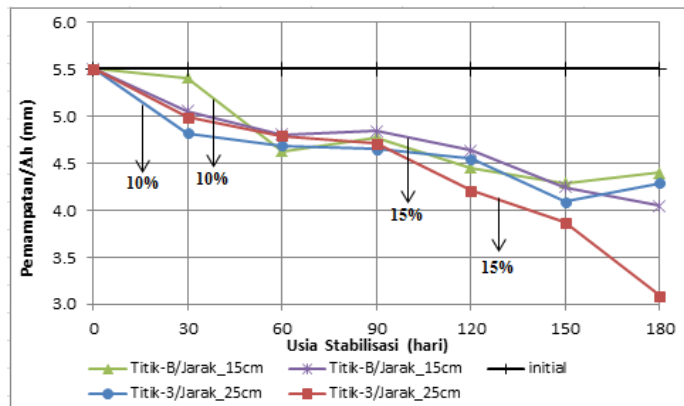
Nilai kuat geser yang terus meningkat (Gambar 4.22) berdampak pada kemampuan tanah gambut yang distabilisasi dalam mendukung beban yang bekerja ($\sigma_v = 50$ kPa). Besar pemampatan secara umum terus mengecil dengan bertambahnya usia stabilisasi (Gambar 4.23). Besar pemampatan vertikal yang terjadi (Δh) pada sampel yang berjarak 5 cm (titik-A/titik-1) masih sama dengan kondisi initial meskipun usia stabilisasi sudah 30 hari (Gambar 4.23a). Perilaku ini jauh berbeda dengan nilai Δh pada gambut yang distabilisasi tanpa filtrasi air dimana nilai Δh pada 30 hari sudah berkurang lebih dari 25% jika dibandingkan kondisi initial (Harwadi, F dan Mochtar, NE., 2010; Yulianto, FE dan Mochtar, NE., 2012). Hal tersebut semakin memperkuat penjelasan sebelumnya bahwa filtrasi air sangat mempengaruhi pembentukan gel CaSiO_3 . Perilaku nilai Δh pada sampel berjarak 5cm (titik-A/titik-1) juga masih berubah ubah (terutama gambut dengan 10%) karena jarak yang terlalu dekat dengan gambut initial sehingga filtrasi air sangat berpengaruh pada gel yang terbentuk, bahkan pada usia 180 hari nilai Δh gambut dengan 10% admixture kembali membesar karena dimungkinkan gel mengalami proses difusi yang menyebabkan pori gambut kembali membesar. Nilai Δh pada jarak 15 cm (titik-B/titik-2) ditunjukkan oleh Gambar 4.23b. Nilai Δh pada jarak 15 cm (titik-B) model K-80 mempunyai kecenderungan lebih stabil dibandingkan kurva sampel dengan jarak yang sama model K-100 (titik-2) yang masih fluktuatif sampai dengan usia 120 hari. Fenomena ini dimungkinkan oleh kondisi air pori yang menurun sehingga gel yang terbentuk menyusut kembali (Igless dan Metcalf, 1979) sehingga ruang pori kembali membesar atau karena sampel yang diujikan tidak merata sehingga ada nilai Δh yang sangat rendah (jarak 15 cm model K-100 usia stabilisasi 60 hari) seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.24 dan pemerataan stabilisasi merupakan kendala utama dalam proses stabilisasi gambut (Souliman, 2011; Mochtar, NE., dkk., 2014). Perubahan nilai Δh menunjukkan kurva yang lebih baik (tidak fluktuatif



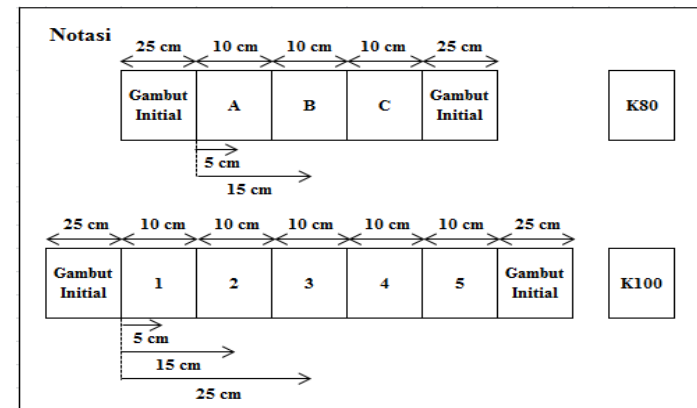
(a)



(b)



(c)



Gambar 4.23 Perilaku pemampatan (Δh) tanah gambut yang distabilisasi di beberapa titik pengujian.

terhadap usia stabilisasi) terutama pada gambut dengan 15% admixture (Gambar 4.23c). Nilai Δh juga menunjukkan nilai terendah saat usia stabilisasi 180 hari (3 mm) pada jarak 25 cm (titik-3) model K-100, bahkan nilai Δh tersebut berkurang lebih dari 50% dibandingkan kondisi initial dan lebih baik dibandingkan nilai Δh pada gambut yang distabilisasi tanpa filtrasi air, Dimana nilai Δh hanya berkurang sekitar 28% dari kondisi initial (Harwadi, F dan Mochtar, NE., 2010; Yulianto, FE dan Mochtar, NE., 2012). Hal ini memperkuat analisa sebelumnya bahwa pada usia 180 hari gel sudah mulai mengkristal.



Gambar 4.24 Foto admixture yang tidak tercampur dengan baik saat proses stabilisasi tanah gambut (a) setelah dioven 110° 24 jam, (b) sebelum proses pengujian sifat fisik dan teknis dilakukan.

Dari penjelasan perilaku tanah gambut pada sub bab 4.4 diketahui bahwa perilaku sifat fisik dan sifat teknis tanah gambut yang distabilisasi sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu:

1. Persentase admixture yang ditambahkan; semakin besar admixture yang dibutuhkan maka konsumsi air juga semakin besar untuk pembentukan gel CaSiO_3 .
2. Ketersediaan air di dalam pori gambut; jumlah air yang ada dalam pori gambut sangat menentukan proses pembentukan gel CaSiO_3 . Air yang berlebihan atau bahkan kekurangan akan menyebabkan pembentukan gel terganggu yang akan berdampak pada parameter tanah gambut yang distabilisasi.

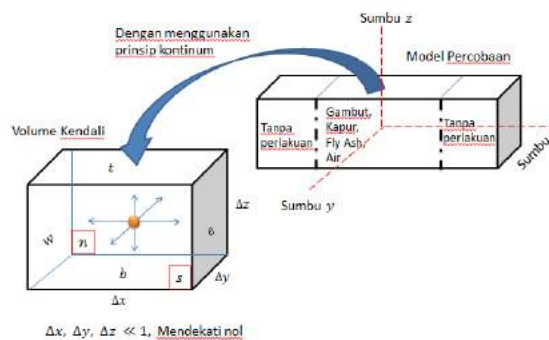
3. Usia stabilisasi; semakin lama usia tanah gambut yang distabilisasi maka sifat fisik maupun sifat teknisnya semakin baik dan cenderung konstan; hal ini dimungkinkan gel yang terbentuk sudah mulai mengkristal sehingga parameter tanah gambut yang distabilisasi semakin baik.
4. Lebar area stabilisasi; semakin jauh jarak (semakin lebar area stabilisasi) dari pengaruh air di sekitarnya, parameter tanah gambut yang distabilisasi cenderung lebih stabil karena gel yang terbentuk lebih stabil juga.

4.5. Pemodelan Numerik

Data perubahan sifat fisik dan teknis tanah gambut berserat yang distabilisasi didapatkan dengan melakukan pemodelan fisik di laboratorium. Dari data tersebut akan dibangun predeksi numerik dengan dua metode yaitu pertama, pemodelan beda hingga untuk pertumbuhan kristal dan aliran dalam media berpori dengan memanfaatkan data awal tanah gambut yang distabilisasi. Metode kedua berupa interpolasi Lagrange dengan memanfaatkan semua data laboratorium sebagai data base untuk memprediksi perilaku parameter tanah gambut yang distabilisasi.

4.5.1. Metode Beda Hingga

Kondisi pemodelan dilakukan menyerupai kondisi lapangan dan perubahan parameter gambut yang distabilisasi diuji berdasarkan ASTM seperti yang dijelaskan di Bab 3. Pertumbuhan gel/kristal pada volume kendali pada pemodelan fisik di laboratorium diilustrasikan oleh Gambar 4.25,



Gambar 4.25 Pemodelan volume kendali pertumbuhan kristal pada proses stabilisasi gambut dengan Metode Beda Hingga.

dimana pertumbuhan kristal yang terjadi akibat penambahan admixture (kapur+abu terbang) pada tanah gambut adalah kesegala arah. Dari model volume kendali pada Gambar 4.25 tersebut dibangun pemodelan beda hingga berdasarkan algoritma sebagai berikut (Pradana, 2014) :

a. Penentuan Persamaan Kendali (Governing Equation)

Persamaan kendali ditentukan berdasarkan perilaku pertumbuhan kristal (Toyukura, 2001) dengan gaya yang bekerja meliputi *shear force* yaitu gaya gesek antar gel yang tumbuh, *surface force* yaitu merupakan gaya yang mempengaruhi pertumbuhan gel dipermukaan karena bagian atas dari model terbuka dan *body force* merupakan gaya berat diatas gel yang tumbuh atau gaya *overburden* (P_o). Persamaan kendali yang telah didapatkan masih mengandung satuan, hal ini akan menyebabkan kesulitan dalam melakukan simulasi numerik untuk menyeragamkan satuan pada beberapa persamaan kendali yang ada sehingga persamaan kendali akan dibentuk dengan variabel tanpa dimensi (Pradana, 2014).

b. Metode Beda Hingga.

Untuk menentukan pertumbuhan gel pada tanah gambut yang distabilisasi persamaa kendali yang telah berubah bentuk menjadi persamaan tanpa dimensi diselesaikan dengan metode beda hingga yang di diskritisasi dengan skema Mac Cormack dengan dua tahapan yaitu prediktor dan korektor. Dengan menggunakan skema ini diharapkan penentuan parameter tanah gambut pada $n+1$ akan lebih akurat.

c. Komputasi Numerik

Untuk memudahkan dalam pembuatan program komputer maka disusun suatu algoritma pemograman dengan langkah sebagai berikut :

i. Menetapkan kondisi awal

Kondisi awal yang perlu ditetapkan adalah : massa jenis padatan/ γ_t (ρ_s), konsentrasi (C), porositas/e (ϕ), kecepatan fluida (u), tekanan fluida (P), dan massa jenis fluida (ρ), laju pertumbuhan kristal (\bar{R}), dan kuat geser (τ).

- ii. Menentukan kondisi awal pada saat $t=0$ sampai dengan $t=n$ dengan tahapan prediktor dan korektor untuk kondisi awal berdasarkan perilaku yang dipengaruhi beberapa parameter lainnya, antara lain
- laju pertumbuhan kristal (\bar{R}) untuk memprediksi nilai massa jenis padatan (ρ_s) atau berat volume tanah (γ_t).
 - Massa jenis padatan (ρ_s) atau berat volume tanah (γ_t) yang mempengaruhi nilai konsentrasi (C), porositas (ϕ) atau angka pori (e).
 - Konsentrasi (C) yang berpengaruh pada kecepatan fluida (u) dan massa jenis fluida (ρ).
 - Tekanan fluida (P) yang mempengaruhi kecepatan fluida (u).

Berdasarkan kondisi awal tersebut, ditetapkan persamaan prediktor dan korektor untuk parameter awal yang digunakan dalam pemograman Matlab R2012b, yaitu:

- Prediktor dan Korektor massa jenis padatan (ρ) atau berat volume tanah gambut yang distabilisasi (γ_t).

$$\rho_{s,i,j,k}^{\bar{n}+1} = \rho_{s,i,j,k}^n + \Delta t \left[\frac{L_0 \bar{R} A c_0 (c - c_{eq})}{\rho_0 (1 - \phi_0 \phi)} \right] \quad (4.1)$$

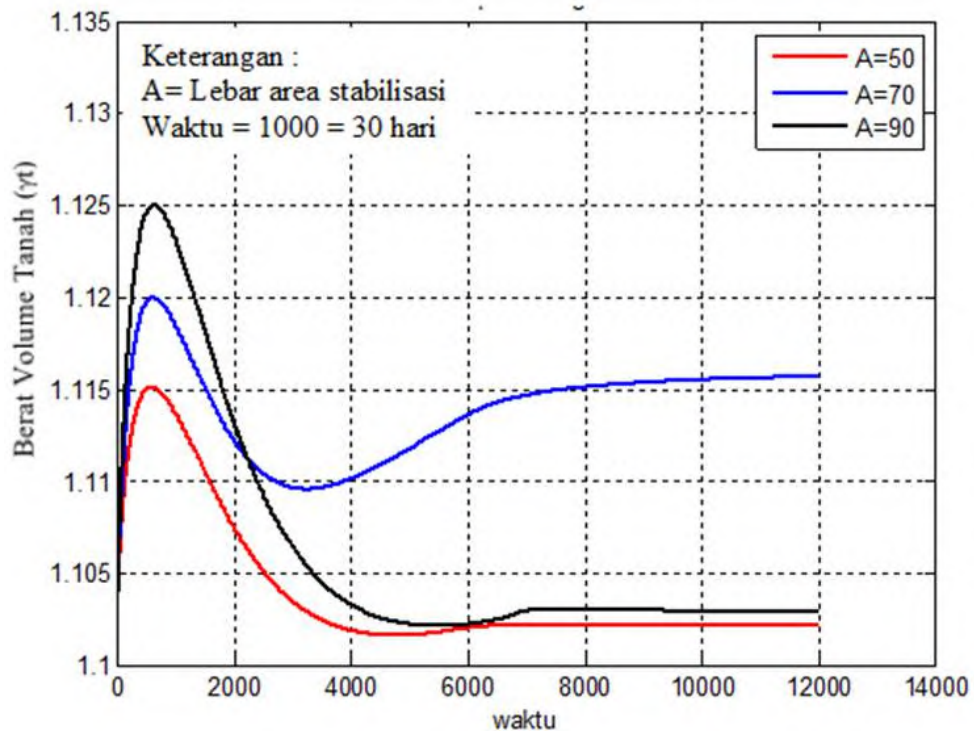
$$\rho_{s,i,j,k}^{n+1} = \frac{1}{2} \left[\rho_{s,i,j,k}^n + \left[\rho_{s,i,j,k}^{\bar{n}+1} + \Delta t \left[\frac{L_0}{U_0 \rho_{0s}} \frac{RA(c - c_{eq})}{(1 - \phi)} \right] \right] \right] \quad (4.2)$$

- Prediktor dan Korektor kuat geser tanah gambut yang distabilisasi (τ)

$$\tau_{i,j,k}^{\bar{n}+1} = \tau_{i,j,k}^n + \left[\frac{\rho_0}{\tau_0} \left(x \left(\rho_{s,i,j,k}^{n+1} - \rho_{s,i,j,k}^n \right) + \left(z \left(\rho_{s,i,j,k}^{n+1} - \rho_{s,i,j,k}^n \right) - \frac{U_0^2}{L_0} \left(P_{i,j,k}^{n+1} - P_{i,j,k}^n \right) \right) \frac{z}{x} \right) \right] \quad (4.3)$$

$$\tau_{i,j,k}^{n+1} = \frac{1}{2} \left[\tau_{i,j,k}^n + \tau_{i,j,k}^{\bar{n}+1} + \frac{\rho_0}{\tau_0} \left(x \left(2\rho_{s,i,j,k}^{n+1} - \rho_{s,i,j,k}^n + \rho_{s,i,j,k}^{\bar{n}+1} \right) + \left(z \left(2\rho_{s,i,j,k}^{n+1} - \rho_{s,i,j,k}^n + \rho_{s,i,j,k}^{\bar{n}+1} \right) - \frac{U_0^2}{L_0} \left(2P_{i,j,k}^{n+1} - P_{i,j,k}^n + P_{i,j,k}^{\bar{n}+1} \right) \right) \frac{z}{x} \right) \right] \quad (4.4)$$

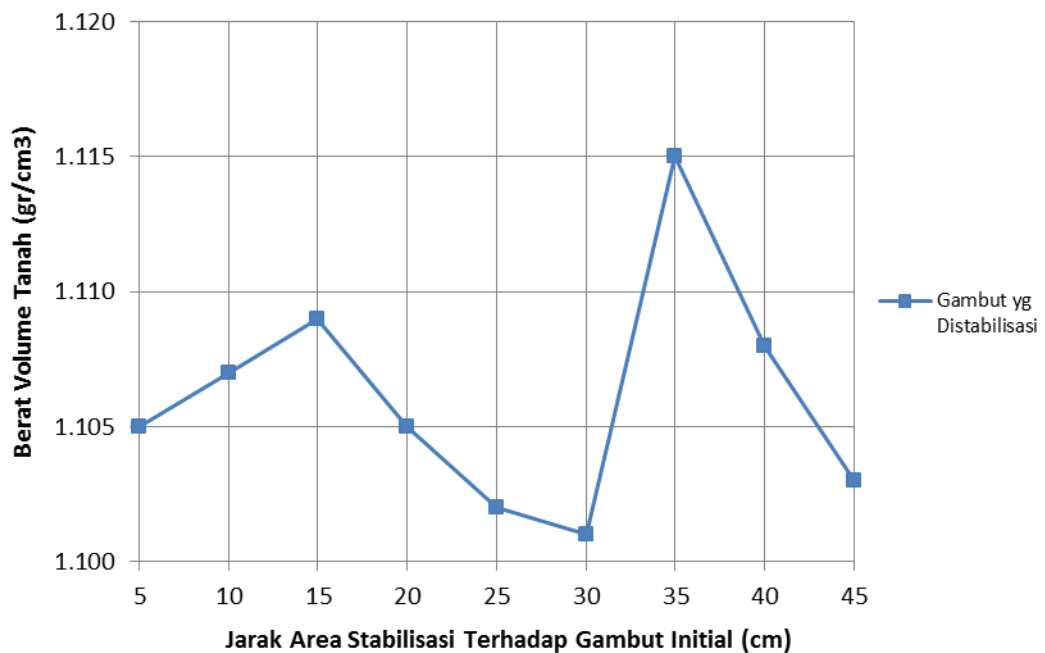
Hasil komputasi numerik untuk Metode Beda Hingga (Gambar 4.26) hanya dapat memprediksi perilaku nilai berat volume tanah gambut yang distabilisasi (Massa padatan/ γ_t), hal ini disebabkan kondisi data yang masih belum stabil, kondisi nilai awal pembentukan kristal (proses kimianya) yang perlu ditingkatkan akurasi serta kondisi gambut dengan dua jenis pori.



Gambar 4.26. *Output* komputasi numerik dengan Metode Beda Hingga untuk gambut dengan 15% admixture dengan variasi lebar area stabilisasi terhadap waktu.

Gambar 4.26 menunjukkan bahwa bertambahnya luas area stabilisasi tidak secara langsung meningkatkan nilai γ_t , hal ini disebabkan, jarak yang terlalu jauh dari gambut initial mengakibatkan kondisi pori gambut sangat kekurangan air (Mochtar, NE., dkk., 2014; Yulianto, FE., et.al., 2014), sehingga akan menyebabkan gel CaSiO_3 yang terbentuk akan kembali menyusut (Igles & Metcalf, 1979) bahkan terurai kembali (Mullin, 1982; Toyukura, 192) serta terjadinya dekomposisi pada serat gambut yang distabilisasi (Kujcala dan Huttunen, 1999; Mochtar, NE., dkk., 2014). Kondisi inilah yang terjadi pada gambut yang distabilisasi dengan lebar area stabilisasi di atas 70cm ($A=90$ cm).

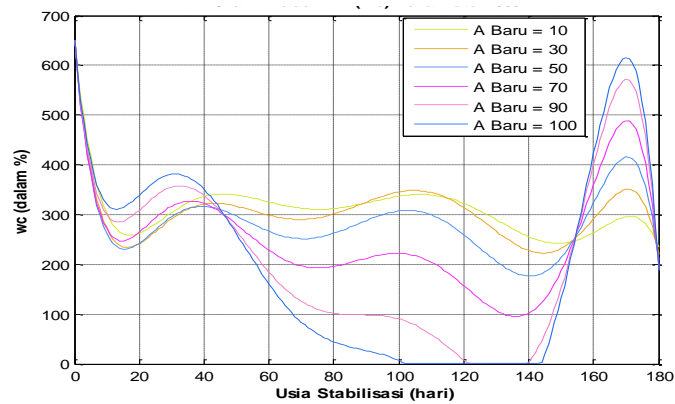
Berdasarkan Gambar 4.26 stabilitas perubahan nilai γ_t terjadi ketika usia stabilisasi mencapai 240 hari ($t=8000$). Untuk menentukan pengaruh variasi lebar area stabilisasi optimum dilakukan simulasi numerik dengan lebar area stabilisasi yang berbeda-beda pada waktu $t=800$ (Gambar 4.27). Dari kurva tersebut diketahui bahwa nilai γ_t tanah gambut yang distabilisasi paling optimum ketika berjarak 35 cm dari gambut initial ($A = 70\text{cm}$) untuk seluruh tebal lapisan yang distabilisasi. Hal ini menunjukkan bahwa pada jarak 35cm filtrasi air sudah minimal mempengaruhi pembentukan gel CaSiSO_3 . Sehingga area stabilisasi yang berjarak 35cm dari gambut initial ($A=70\text{cm}$) dapat ditentukan sebagai zona efektif stabilisasi.



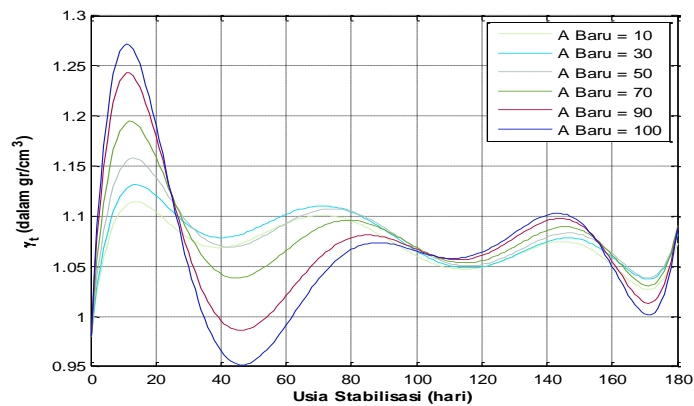
Gambar 4.27 Pengaruh jarak area stabilisasi terhadap gambut initial untuk nilai γ_t tanah gambut yang distabilisasi pada $t=8000$ (240 hari).

4.5.2. Metode Interpolasi Lagrange

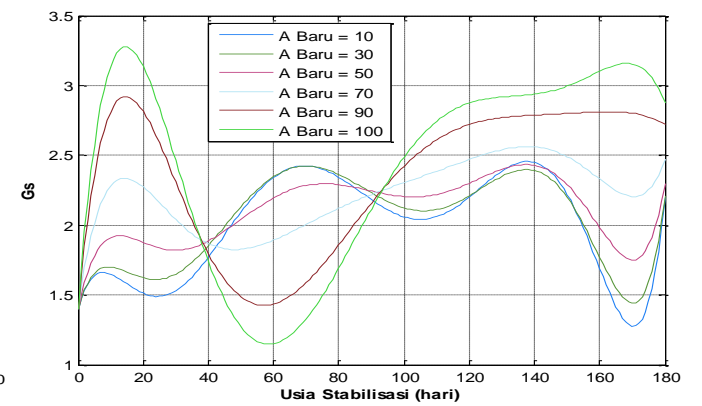
Untuk menentukan nilai parameter lainnya pada tanah gambut yang distabilisasi dilakukan dengan interpolasi Lagrange. Metode interpolasi Lagrange merupakan prediksi numerik pada titik-titik antara (awal, tengah dan akhir) sehingga data yang diperoleh akan mempunyai akurasi yang baik sampai dengan usia stabilisasi 180 hari (Gambar 4.28). Interpolasi Lagrange juga dapat



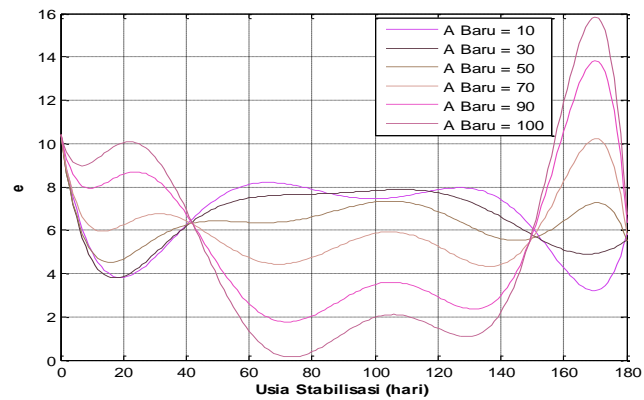
(a)



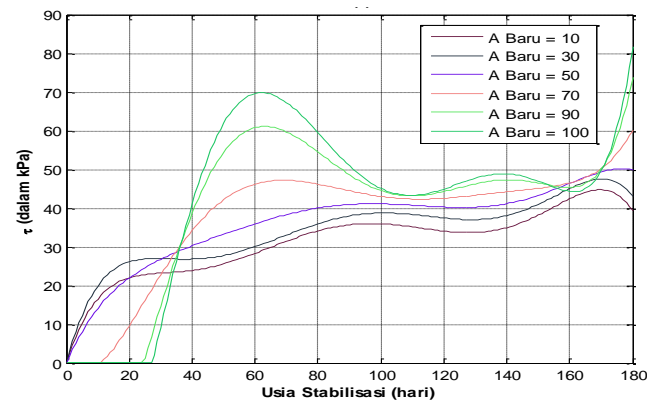
(b)



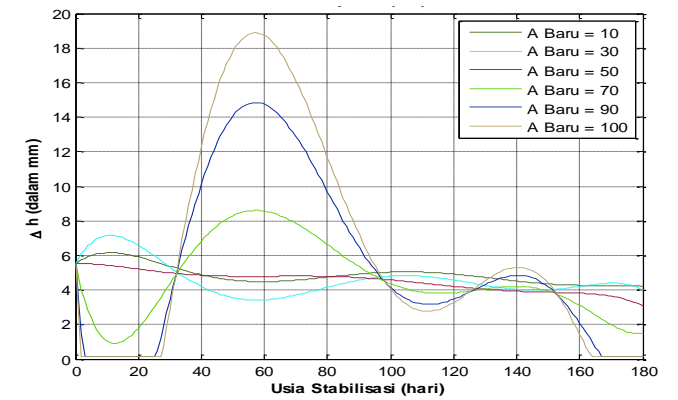
(c)



(d)



(e)



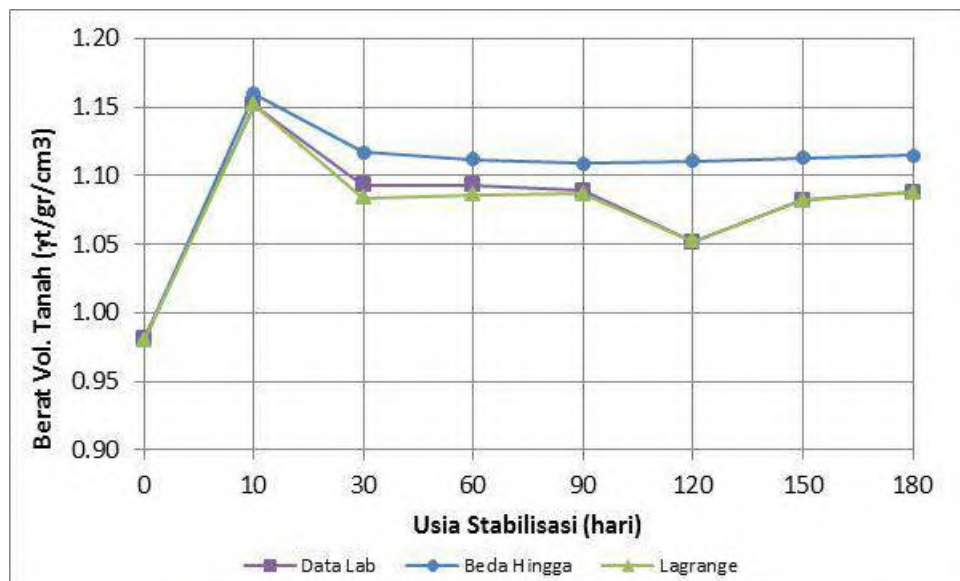
(f)

Gambar 4.28. *Ouput* komputasi numeric metode Interpolasi Lagrange untuk parameter tanah gambut yang distabilisasi dengan 15% admixture dan lebar area stabilisasi yang berbeda beda, (a) Kadar Air/wc; (b) Berat Volume Tanah/ γ_t ; (c) Spesific Gravity/ G_s ; (d) Angka pori/ e ; (e) Kuat Geser/ τ ; (f) Pemampatan/ Δh .

menentukan secara langsung pengaruh lebar area stabilisasi dengan cukup baik. Sama halnya dengan metode Beda Hingga. Metode Interpolasi Lagrange menunjukkan bahwa lebar area stabilisasi di atas 70cm (jarak 35 cm) akan menyebabkan sifat fisik dan teknis gambut yang distabilisasi menurun. Hanya saja, metode ini mempunyai kelemahan dalam meprediksi parameter tanah gambut yang distabilisasi, dimana nilai prediksi akan terus menurun atau meningkat jika beberapa data sebelumnya (n-1) mempunyai data yang terus menurun atau meningkat (Gambar 4.28a, Gambar 4.28b, Gambar 4.28e dan Gambar 4.28f).

4.5.3. Validasi data

Validasi data dilakukan untuk mengetahui tren (akurasi numerik) perilaku data laboratorium dengan data hasil prediksi numerik. Gambar 4.29 menunjukkan perilaku nilai γ_t data laboratorium untuk jarak 25cm (titik-3) model K-100 gambut yang distabilisasi dengan 15% admixture yang merupakan data dengan nilai terbaik dibandingkan data lainnya. Dari Gambar 4.29 diketahui bahwa metode Interpolasi Lagrange mempunyai akurasi yang lebih baik dibandingkan prediksi dengan Model Beda Hingga. Hal ini disebabkan Interpolasi Lagrange menggunakan semua data laboratorium untuk memprediksi nilai γ_t .



Gambar 4.29 Kurva validasi data laboratoirum dengan prediksi numerik Metode Beda Hingga dan Interpolasi Lagrange.

Sedangkan pemodelan dengan Beda Hingga hanya menggunakan data awal untuk memprediksi nilai γ_t pada usia stabilisasi selanjutnya dengan menggunakan asumsi pertumbuhan kristal gambut dalam media berpori. Selain itu, prediksi numerik dengan Metode Beda Hingga mengasumsikan aliran air yang terjadi hanya dalam satu pori saja sedangkan kenyataannya, gambut mempunyai dua pori (makropori dan mikropori).

Untuk sifat fisik dan teknis lainnya, validasi data hanya menggunakan Metode Interpolasi Lagrange karena kondisi pemodelan Metode beda Hingga tidak menghasilkan trend yang sesuai dengan kondisi data laboratorium akibat persamaan kendali belum stabil (4.4.1). Gambar 4.30 menunjukkan akurasi *output* dari metode Interpolasi Lagrange yang mempunyai hasil sangat baik untuk sifat teknis tanah gambut yang distabilisasi. Begitu pula yang ditunjukkan oleh Gambar 4.31 yang menunjukkan validasi data laboratorium dengan sifat fisik tanah gambut yang distabilisasi. Dari gambar di atas menunjukkan bahwa Metode interpolasi Lagrange sangat baik dalam memprediksi sifat fisik dan teknis tanah gambut yang distabilisasi.

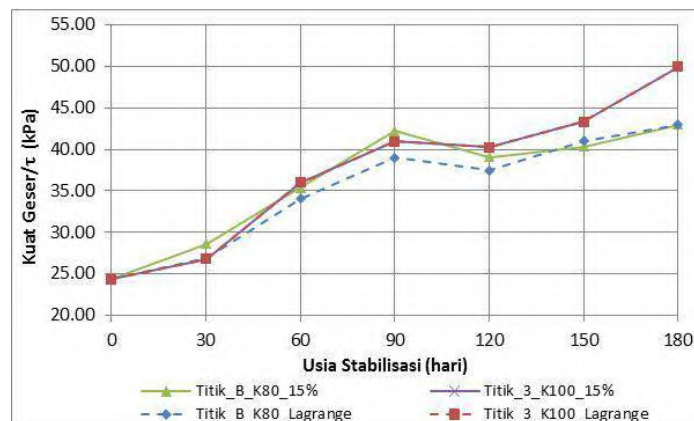
4.5.4. Penentuan Zona Efektif Stabilisasi

Untuk menentukan zona efektif stabilisasi dalam pemodelan fisik di laboratorium akan dilakukan simulasi lebar area stabilisasi sampai dengan jarak 50 cm dari tepi gambut initial untuk semua parameter tanah gambut yang distabilisasi terutama dengan menggunakan Metode Interpolasi Lagrange. Penentuan zona efektif stabilisasi akan ditentukan dari 3 (tiga) faktor, yaitu :

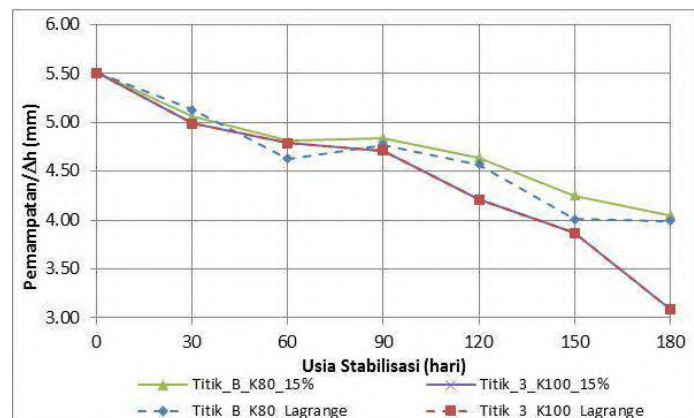
1. Hasil prediksi numerik dengan dua metode yang menunjukkan nilai optimal dari parameter gambut yang distabilisasi dengan variasi lebar area stabilisasi yang ditentukan.
2. Perbandingan nilai parameter tanah gambut yang distabilisasi dengan hasil penelitian sejenis lainnya serta kondisi model fisik di laboratorium.
3. Kelemahan dari dua metode numerik yang digunakan untuk memprediksi parameter tanah gabut yang distabilisasi.

Dari model fisik laboratorium juga diketahui bahwa gambut yang distabilisasi dengan 15% admixture memberikan perubahan parameter tanah gambut yang

lebih baik dibandingkan gambut yang distabilisasi dengan 10% admixture karena gel yang terbentuk lebih stabil terhadap filtrasi air dari sekitarnya. Berdasarkan hal tersebut simulasi numerik hanya akan dilakukan untuk gambut yang distabilisasi dengan 15% admixture dengan jarak dari tepi gambut maksimal 50 cm karena untuk jarak lebih besar dari 50cm *ouput* numerik tidak menghasilkan nilai yang baik akibat keterbatasan model yang dibangun.

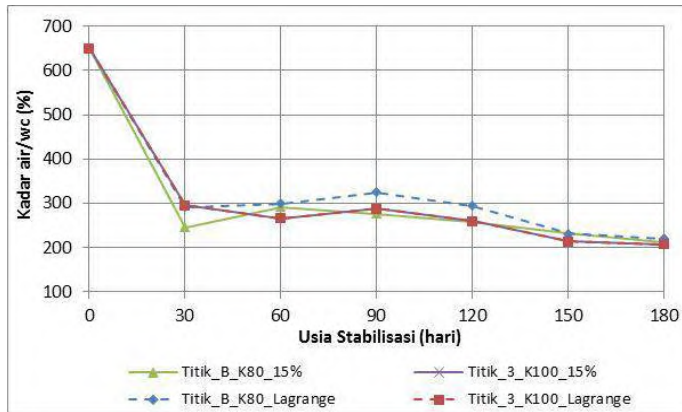


(a)

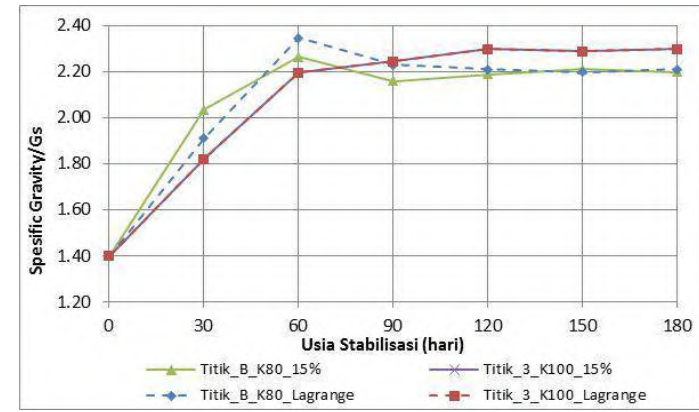


(b)

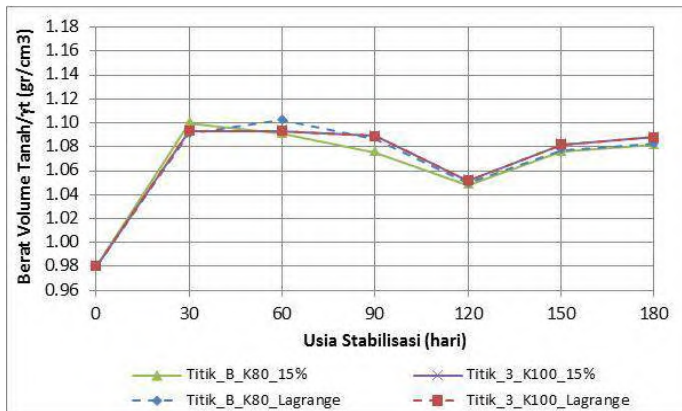
Gambar 4.30. Validasi hasil data laboratorium dan interpolasi Lagrange untuk 15% admixture untuk sifat teknis tanah gambut yang distabilisasi: (a) Kuat geser/ τ ; (b) Pemampatan/ Δh .



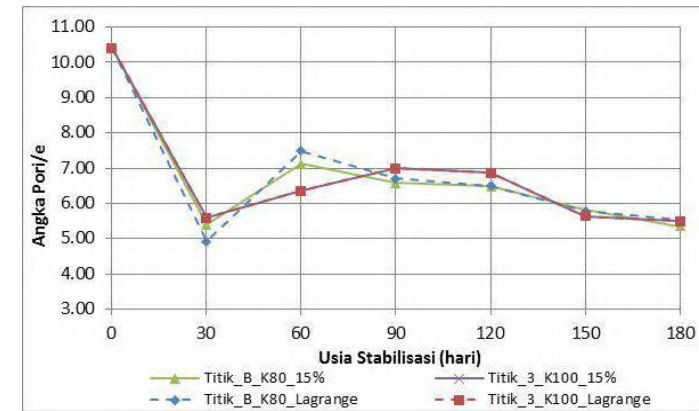
(a)



(b)



(c)



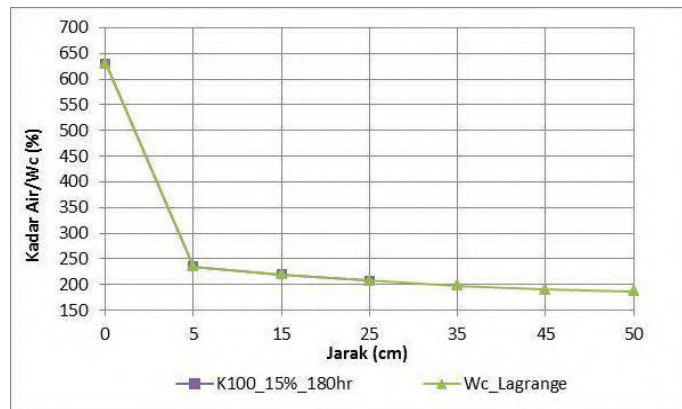
(d)

Gambar 4.31. Validasi hasil data laboratorium dan interpolasi Lagrange untuk 15% admixture untuk sifat fisik tanah gambut yang distabilisasi: (a) Kadar Air/wc; (b) Berat Volume Tanah/γt; (c) Spesific Gravity/Gs; (d) angka Pori/e.

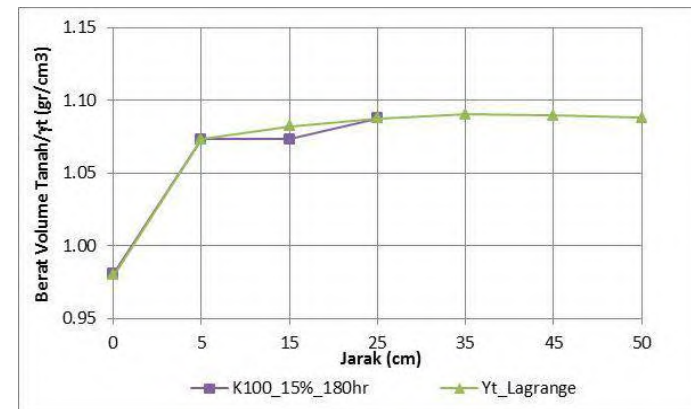
Gambar 4.32 menunjukkan sifat fisik tanah gambut yang distabilisasi dengan 15% admixture dengan variasi lebar yang berbeda beda. Nilai kadar air (w_c) terus menurun dengan bertambahnya lebar area yang distabilisasi karena filtrasi air yang semakin sulit menjangkau pori gambut dibagian tengah area stabilisasi (Gambar 4.33a). Namun perubahan nilai w_c diatas jarak 25 cm sudah kecil bahkan cenderung konstan. Nilai berat volume tanah (γ_t) cenderung menurun setelah jarak dari tepi gambut initial di atas 35 cm (Gambar 4.33b).

Kondisi w_c yang terus berkurang pada jarak di atas 35 cm memberikan resiko yang semakin besar pada tanah gambut yang distabilisasi terhadap kondisi gel CaSiO_3 yang dapat menyusut kembali (Igels & Metcalf, 1979), terjadinya dekomposisi pada serat gambut yang distabilisasi (Kujala & Huttunen, 1999; Mochtar, NE., dkk., 2014) serta terurainya kembali gel yang sudah terbentuk (Mullin, 1982; Toyukura, 1982). Oleh sebab itu, penurunan nilai yang terjadi pada nilai γ_t dapat disebabkan oleh tiga kondisi tersebut. Berdasarkan nilai w_c dan γ_t tersebut dapat ditentukan bahwa zona efektif stabilisasi adalah gambut yang mempunyai jarak 35 cm dari tepi gambut initial (lebar area stabilisasi/A = 70cm). Hal ini juga diperkuat *output* numerik dari Metode Beda Hingga (Gambar 4.27 dan Gambar 4.28).

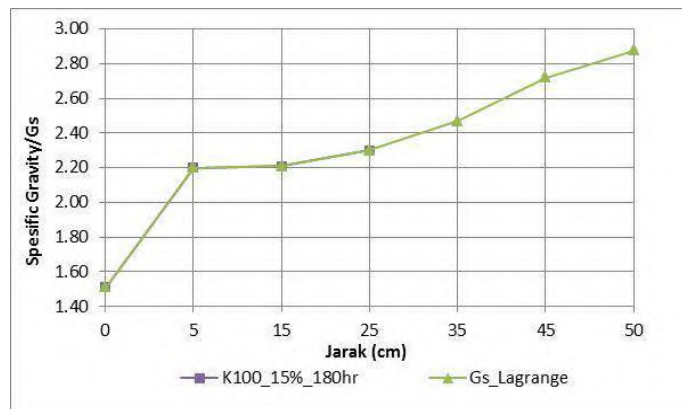
Gambar 4.33c menunjukkan nilai G_s gambut yang distabilisasi terus meningkat dengan bertambahnya jarak dari tepi gambut initial. Namun melihat kondisi pemodelan fisik di laboratorium serta kelemahan yang ada pada Metode Interpolasi Lagrange nilai G_s di atas jarak 35 cm sangat sulit tercapai. Selain itu, hasil penelitian lainnya menunjukkan bahwa nilai G_s tertinggi gambut yang distabilisasi tidak melebihi 2.5 (Harwadi dan Mochtar, NE., 2010., Kolay and Taib, 2011; Mochtar, NE., dkk., 2014). Perubahan nilai w_c , γ_t dan G_s di atas jarak 35 cm juga didukung nilai angka pori (e) gambut yang distabilisasi (Gambar 4.33d) dimana nilai e nya terus membesar setelah jarak di atas 35 cm. Hal ini memperkuat analisa sebelumnya bahwa gambut yang distabilisasi di atas jarak 35 cm ($A > 70\text{cm}$) akan mengalami kondisi w_c yang sangat berkurang sehingga menyebabkan gel yang terbentuk akan mengalami penyusutan, dekomposisi dan



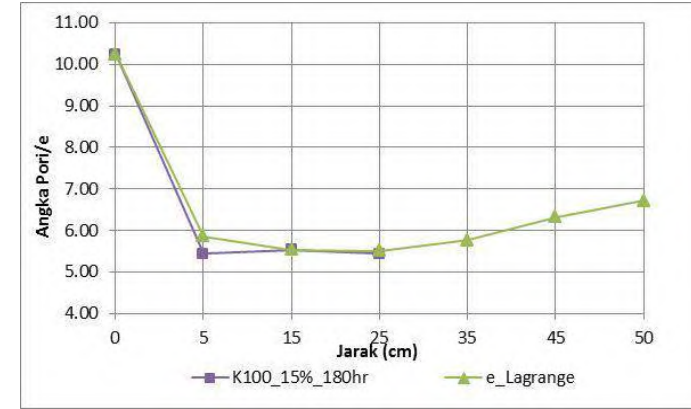
(a)



(b)

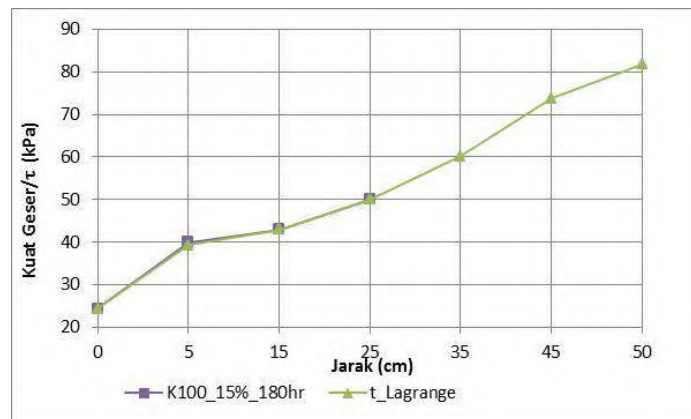


(c)

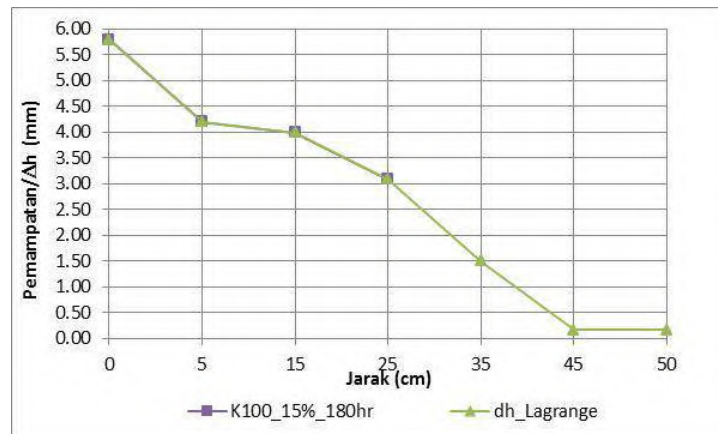


(d)

Gambar 4.32. Output Interpolasi Lagrange untuk gambut dengan 15% admixture dengan variasi jarak dari tepi gambut initial : (a) Kadar Air/wc; (b) Berat Volume Tanah/ γ_t ; (c) Spesific Gravity/ G_s ; (d) angka Pori/ e .



(a)



(b)

Gambar 4.33. *Output* Interpolasi Lagrange untuk gambut dengan 15% admixture dengan variasi jarak dari tepi gambut initial : (a) Kuat geser/ τ ; (b) Besar pemampatan/ Δh .

terlepas kembali. Dari prediksi numerik untuk sifat fisik gambut yang distabilisasi (Gambar 4.33) dapat ditentukan bahwa Zona Efektif Stabilisasi diperoleh pada jarak 35 cm atau luas are stabilisasi (A) 70 cm.

Output numerik juga disimulasikan untuk sifat teknis tanah gambut yang distabilisasi (Gambar 4.33). Nilai kuat geser (τ) tanah gambut yang distabilisasi terus meningkat dengan bertambahnya jarak dari tepi gambut initial (Gambar 4.33a). Hal yang sama juga terjadi pada nilai pemampatannya/ Δh (Gambar 4.33b). Bahkan pada jarak di atas 35 cm nilai Δh dibawah 0.5. Berdasarkan dua nilai tersebut (τ dan Δh) dan didasarkan tiga faktor untuk menentukan zona efektif stabilisasi nilai τ dan Δh sulit tercapai dalam pemodelan fisik laboratorium

sehingga berdasarkan Gambar 4.34 dan didukung Gambar 4.33 dapat ditentukan bahwa Jarak 35 cm ($A=70$) merupakan jarak yang dapat menghasilkan nilai optimal dari gambut yang distabilisasi. Berdasarkan seluruh penjelasan di atas dapat ditentukan bahwa zona efektif tanah gambut yang harus distabilisasi dengan 15% admixture harus mempunyai jarak 35 cm atau lebar area stabilisasi 70 cm dengan tebal lapisan yang distabilisasi adalah keseluruhan (30 cm).

BAB V

KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Dari data hasil penelitian yang dilakukan di laboratorium dan lapangan serta analisa yang dijelaskan pada bab sebelumnya diketahui bahwa gambut distudi dapat diklasifikasikan sebagai: “*Tanah Gambut Hemic, dengan kadar abu rendah dan keasaman yang tinggi serta derajat dekomposisi H4*”. Sedangkan sifat teknis gambut initial mempunyai sudut geser (ϕ) 20^0 dengan total pemampatan untuk konsolidasi satu tahap mencapai 5.8 mm dan besar kuat geser (τ) sebesar 24,39 kPa. Selain itu dapat disimpulkan beberapa hal dari penelitian yang dilakukan, yaitu:

1. Filtrasi air dari gambut initial kedalam tanah gambut yang distabilisasi semakin melambat dengan bertambahnya jarak dari tepi gambut initial. Kadar air (wc) terendah diperoleh pada sampel yang berjarak 25 cm dari tepi gambut initial untuk gambut yang distabilisasi dengan 15% admixture yaitu sebesar 207% (67.1% wc initial) pada usia stabilisasi 180 hari. Volume air di dalam pori gambut yang distabilisasi (wc) semakin menurun dengan bertambahnya usia stabilisasi dan nilai wc sudah mulai konstan ketika usia stabilisasi lebih besar dari 120 hari.
2. Filtrasi air dari sekitar gambut yang distabilisasi sangat berpengaruh pada sifat fisiknya terutama pada tanah gambut yang distabilisasi dengan 10% admixture. Semakin dekat jarak dari gambut initial dan semakin kecil prosentase admixture yang diberikan, sifat fisik tanah gambut yang distabilisasi semakin jelek. Sifat fisik dengan nilai paling optimal didapatkan pada tanah gambut yang distabilisasi dengan 15% admixture dan berada pada jarak 25 cm dari tepi serta pada usia stabilisasi 180 hari. Adapun parameter tanahnya adalah sebagai berikut :
 - a. Berat volume tanah (γ_t) gambut yang distabilisasi meningkat sebesar 11% dari kondisi initial (0.98 gr/cm^3 menjadi 1.088 gr/cm^3).

- b. *Specific gravity* (Gs) meningkat menjadi 2.3 dari kondisi awal sebelum distabilisasi yaitu 1.40 atau mengalami peningkatan sebesar 64.3% dari kondisi awal.
 - c. Angka pori (e) gambut yang distabilisasi menurun cukup besar menjadi 5.50 dari nilai e sebelum distabilisasi sebesar 10.4 atau menurun 47.1% dari kondisi awalnya.
3. Gel CaSiO_3 terbentuk dengan cepat di awal usia stabilisasi; semakin jauh jarak dari tepi gambut initial, gel CaSiO_3 lebih stabil. Gel yang terbentuk dari gambut yang distabilisasi dengan 15% admixture mempunyai sifat yang lebih stabil terhadap filtrasi air. Pada usia di atas 120 hari kondisi gel sudah mulai mengkristal sehingga memberikan nilai optimal pada sifat teknisnya terutama pada usia stabilisasi 180 hari. Untuk gambut yang distabilisasi dengan 15% admixture, berada pada jarak 25 cm dari tepi gambut initial, dan pada umur 180 hari, sifat teknisnya adalah sebagai berikut:
 - a. pemampatan yang terjadi sebesar 3.09 mm yang berarti berkurang 47% dari pemampatan gambut initial sebesar 5.80 mm.
 - b. nilai kuat geser meningkat menjadi 49,96 kPa dari kondisi initial sebesar 24.39 kPa atau mengalami peningkatan sebesar 101% dari kondisi initial.
4. Lebar zona efektif dari lahan gambut yang harus distabilisasi ditentukan dengan cara membuat simulasi dengan dua metode pemodelan numerik yaitu Metode Beda Hingga dan metode Interpolasi Lagrange; parameter yang dibuat bervariasi adalah lebar area stabilisasi dan usia stabilisasi; hasilnya adalah sebagai berikut:
 - a. Metode Beda Hingga menghasilkan kurva yang sama dengan data laboratorium dimana nilai γ_t tertinggi diperoleh dari gambut yang distabilisasi dengan 15% admixture untuk lebar 70 cm (berjarak 35 cm dari tepi gambut initial).
 - b. Metode Interpolasi Lagrange menghasilkan kurva dengan akurasi yang baik terhadap data laboratorium untuk semua parameter tanah gambut yang distabilisasi untuk usia stabilisasi 180 hari. Selain itu, hasil simulasi numerik menunjukkan bahwa gambut yang distabilisasi dengan lebar area

stabilisasi 70 cm (berjarak 35 cm dari tepi gambut initial) memberikan sifat fisik dan teknis yang paling baik.

Dari hasil dua metode pemodelan numerik tersebut diketahui bahwa **Zona Efektif Stabilisasi** pada tanah gambut berserat yang distabilisasi dengan 15% admixture memberikan hasil terbaik jika lebar area stabilisasi adalah **70 cm**. Luas area stabilisasi kurang atau lebih besar dari 70 cm, tanah gambut mempunyai resiko proses penyusutan dan penguraian gel CaSiO_3 bahkan terjadinya dekomposisi pada serat gambut yang distabilisasi.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ACUAN

- Abdelhamid, M.S. and Krizek, R.J. (1976), At-rest lateral Earth of a Consolidation Clay, *Journal of the Geotechnical engineering Division, ASCE, Vol. 102, No. GT7, uly. Pp. 721-738.*
- Afief Ma'ruf, M. (2012), *Pengaruh Air di Sekitar Area Lahan Gambut yang Distabilisasi Terhadap Sifat Fisik dan Sifat Teknis Tanah Gambut*, Tesis Program Magister FTSP-Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Alhasan, Musa (2008), Permeability of Lateric Soil Treated with Lime and Rice Husk Ash, *AU J. T. 12(2):, Nigeria.*
- Adam, J.I. (1965), The Engineering Behaviour of a canadian Muskeg. *Proc. Sixth International Conference On Soil Mechanics and Foundation Engineering. Vol.1, pp 3-7.*
- Agus, F, dan Made Subiksa, I.G (2008), *Lahan Gambut : Potensi Untuk Pertanian dan Aspek Lingkungan*, Balai Penelitian Tanah Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Bogor.
- Anderson, K.O and R.A Hemstock, (1959), Relating Some Engineering Properties of Muskeg to Some Problems of Field Construction. *Proc. Fifth Muskeg Res. Conf. NRC. ACSM Tech. Memo, 61 : 16-25.*
- Apsley, David (2005), *Computational Fluid Dynamic*, New York: Spring.
- ASTM Annual Book (1985), *Standard Classification of Peat Samples by Laboratory Testing (D4427-84)*. ASTM, Section 4, Volume 04.08 Soil and Rock, pp 883-884.
- ASTM Annual Book (1992), *Standard Classification of Peat Samples by Laboratory Testing (D4427-92)*, ASTM, Section 4, Volume 04.08 Soil and Rock, Philadelphia.
- ASTM C136, *Standard Test Methode for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*, (www. Astm.org).
- ASTM D4318, *Standard Test methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Platicity Index of Soil*, (www. Astm.org).
- ASTM D4318, *Standard Test methods for Moisture, Ash, and Organic Matter and Other Soils*, (www. Astm.org).
- Balai Besar Penelitian dan Pengembangan sumberdaya Lahan Pertanian Badan Penelitian dan Pegembangan Pertanian (2011), *Peta Lahan Gambut Indonesia' Edisi Desember*, ISBN 978-602-8977-16-6.
- Bartlett, Padraic (2011), *Recitation : Green's Theorem*, Coltech.
- Barry A, J, Brady M A & Younger J S (1992), Roads on Peat in East Sumatra, *Symposium in Print: Environmental Geotechnics, South East Asian Geotechnical Society, Bangkok.*

- Beles, A.A and Stanculescu, I. I (1958), Thermal Treatment as a means of Improving The Stability of Earth Masses, *Geotechnique*, Vo. 8, pp. 158-165.
- Bowles, Joseph E (1997), *Sifat – Sifat Fisis Dan Geoteknis*, Erlangga, Jakarta.
- Buisman, A. S. Keverling (1936), Results of Long Duration Settlement Tests. *Proc., Int. Con. On Soil Mech. And Found. Eng., Vol. 1*, pp 103-106.
- Brooker, E.W. and Ireland, H.O (1965), Earth pressure at Rest Related to Stress History, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 2, No. 1, pp 1-15.
- Canada National Research Council (CNRC) 1979, Muskeg Subcommittee 1979, *Peat Testing Manual*, Technical memorandum 125, 193p.
- Colley, B.E. (1950), *Construction of Highways Over Peat and Muck Areas*, Am. Highways, Vol. 29, No. 1.
- Chow, T. A, Tanji, K., Gao, S., Dahlgren, R. A, (2005). Temperature, Water content and wet-dry effects on DOC production and carbon mineralization in agricultural peat soils, *Jurnal Soil Biologi & Biochemistry* vol 38 hal 477-488, *elsevier*, 2005.
- David, D. (1976), *Validation of Soil Stabilization Index System with Manual Development*, Federal National Government Publication, USA.
- Duran, Ricardo G. (2001), *Galerkin Approximations and Finite element Methods*, departamento de Matematica, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- Duraisamy, Y. (2008), Preliminary Design Chart of Cement Columns for Deep Soil Mixing Method in Tropical Peat, *Proceeding of International Conference On Construction And Building Technology – E – (40) – pp495-510*.
- Departemen Pekerjaan Umum (1996), *Spesifikasi Kapur Untuk Stabilisasi Tanah SNI-03-4147-1996*, Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum (2006), *Manual Konstruksi Bangunan, Buku 7 Lapis Pondasi Tanah Kapur*, No. 002-007/BM/2006, Direktorat Jenderal Bina marga, Jakarta.
- Dhowian, A,W and T.B. Edil (1980), Consolidation Behaviour of Peat, *Geotechnical Testing Journal*, Vol.3. No. 3. pp 105-144.
- Flustel, I.C, and H.G. Byers, (1930), *The Physical And Chemical Characteristic of Certain American Peat Profile*, U.S. Dept. Agri., Bur. Of Chem and Soil, Tech. Bull. 214, Washington D.C.
- Gibson, R.W., Lo, K.Y (1961), *A Theory of Consolidation of Soils Exhibiting Secondary Compression*, Acta Polytechnica Scandinavia.
- Hanrahan, E.T. (1954), An Investigation of Some Physical Properties of Peat, *Geotechnique*, Vol.4, No 3.

- Hamer, A. A. M., Venmans, W. H., Olie, J. J (2009), Stabilization of Peat by Silica Based Solidification, *Proceeding of the 17th International Conference on Soil mechanics and Geotechnical engineering*, IOS Press.
- Hardjowigeno, S. (1989), Sifat-sifat tanah dan potensi tanah gambut Sumatra untuk pengembangan pertanian, *Prosiding Seminar Tanah Gambut untuk Perluasan Pertanian*. Fakultas Pertanian UISU, Medan. h. 14-42.
- Harwadi, F. and Mochtar, N.E. (2010), Compression Behavior of Peat Soil Stabilized with Enviromentally Friendly Stabilizer, *Proceedings of the First Makassar International Conference on Civil Engineering (MICCE2010)*, March 9-10, 2010).
- Hasyim, R and Islam, S (2008), Engineering Properties of Peat Soil in Peninsular, Malaysia, *Journal of Applied Sciences*, 1812-5654.
- Hikkala, S., Leppanen, M., Lahtinen, P (1996). "Mass Stabilization of Peat in Road construction". NGM. 5 p.
- Huttunen, E., and Kujala, K. (1996), On the stabilization of organic soils, *In Proceedings of the 2nd International Conference on Ground Improvement Geosystem, IS-Tokyo 96*. Vol. 1, pp. 411-414.
- Hunter, Peter (2001), *Finite Element Methods and Boundary Element Methods Notes*, Departement of Engineering Science The University of Auckland, New Zealand.
- Huat Bujang, B. K, Maail, S and Mohamed, T. A. (2005), Effect of Chemical Admixtures on the Engineering Properties of Tropical Peat Soils, *American Journal of Applied Sciences* 2 (7): 1113-1120, ISSN 1546-9239, 2005.
- Huangjing, S. Gasaluck, W (2010), The Stabilizatoin of Loess by Chemical Additives for Road Base, *EJGE*, Vol. 15, Bund.O.
- http://www.taurusrs.com/jin_phd_thesis/chapter4.pdf (2013), *Finite Element Solution via Standard Galerkin's Method*.
- Hebib, Samir & Farrell, E.R, (2003), Some Experiences on The Stabilization of Irish Peats, *Canadian Geotechnical Journal* 40 : 107-120.
- Herina, S F (2005), *Kajian Pemanfaatan Abu Sekam padi Untuk Stabilisasi Tanah Dalam Sistem Pondasi di Tanah Ekspansif*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan DPU, Kolokium & Open House 8-9 Desember, Bandung.
- Hoffmann, K. A. (1989), *Computational Fluid Dynamics for Engineers*, The University of Texas at Austin, Texas.
- Ingles, O. G and Metcalf, J. B. (1979), *Soil Stabilization (Principles and Practise)*, Butterworths, Sydney Australia.

- Ilyas, T, Rahayu, W dan Arifin, D. S (2008), Studi Perilaku Kekuatan Tanah Gambut Kalimantan yang DiStabilisasi dengan Semen Portland, *JURNAL TEKNOLOGI, Edisi No. 1 Tahun XXI, Maret 2008, 1-8 ISSN 0215-1685*.
- Islam, M. S. and Hashim, R. (2009), Bearing Capacity of Stabilised Tropical Peat by Deep Mixing Method, *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3(2) : 682-688, 2009, ISSN 1991- 8178.
- Jelusic, N., Leppänen, M., (2001), *Mass Stabilization of Peat in Road and Railway construction*, Swedish Road Administration, SCC-Viatek Finlandia.
- J. N. Jha, K. S. Gill (2006), Effect Of Rice Husk Ash On Lime Stabilisation, *Journal of The Institution of Engineers, India*.
- Kusumawardani, M & Mochtar, N.E. (2012), Experiment on Fibrous Peat Subjected to Reduction of Water Content, *Proceeding of 8th International Symposium on Lowland Technology*.
- Keller Ground Engineering Pty Ltd, (2002), *Lime Cement Dry Soil Mixing*, PO. Box. 7974 baulkham Hills NSW Australia.
- Kearns, F.L., Autin, W.J., and Gerdes, R.G. (1982), Geological Society of American Abstracts with Programs, *N.E. and S.E Sections, Vol. 14, No.1 and 2*.
- Kolay, P.K., Sii, H. and Taib, S.N.L. (2011), Tropical Peat Soil Stabilization using Class F Pond Ash from Coal Fired Power Plant, *International Journal of Civil and Environmental Engineering* 3:2.
- Landva, A.O., E.O. Korpijaakko, P.E. Pheeney, and P.M. Jarret, editor (1982), *Geotechnical Classification of Peats and Organic Soils*, Testing of Peats and Organic Soils, ASTM, STP 820.
- Lambe, T.W. (1962), *Soil Stabilization*, Chapter 4 of Foundation Engineering, G.A. Leonards (ed), McGraw Hill, New York.
- Litbang Pertanian (2011), *Peta Lahan Gambut Indonesia*” Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Edisi desember 2011.
- Little, Dallas, N, (1995), *Stabilization of Pavement Subgrades of Fine and Coarse Aggregates*.
- Lea and Brawner, (1959), in MacFarlane, I.C., (1959), *Muskeg Engineering Handbook*, National Research Council of Canada, Toronto, University of Toronto Press.
- Luknanto, Joko (1992), *Angkutan Limbah*, PAU, Ilmu Teknik, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- MacFarlane, I.C. (1959), *Muskeg Engineering Handbook*, National Research Council of Canada, University of Toronto Press, Toronto, Canada
- MacFarlane, I.C. dan Radforth, N.W. (1965), A Study of Physical Behaviour of Peat Derivatives Under Compression, *Proceeding of The Tenth Muskeg*

Research Conference. National Research Council of Canada, Technical Memorandum No 85.

Mankinen, G.W. and Gelfer, B. (1982) Compressive Use Peat in The USSR, *DOE 5th Technical Conference of Peat*.

Miyakawa, I (1959), Soil Engineering Research in on Peaty Alluvia, *Report 1 to 3, Civil Eng. Res. Int. Hokkaido Development Bureau, Bull. No. 20, Sapporo, 88. English transl. by K. Shimizu, NRC Transl. no. 001, Ottawa, 1962.*

Mullin, J. W. (1982), *Crystallization*, Butterworths, London.

Muntahar, Agus Setyo (2002), Utilization Of Uncontrolled Burnt Rice Husk Ash In Soil Improvement, *Jurnal DIMENSI TEKNIK SIPIL Vol 4, No. 2, Surabaya.*

Munson B. R, Donald F. Young, Theodore H. Okiishi, (2003), *Mekanika Fluida (Edisi Terjemahan)*, Erlangga, Jakarta.

Moran, et. al. (1958), *Study of Deep Soil Stabilization by Vertical Sand Drain*, us Dept. Navy Bureau of Yards and Dock, Rept. No. y88812, Washington, D.C. 429. Pp.

Mochtar, N. E. dan Mochtar, Indrasurya B. (1991), Studi Tentang Sifat Fisik dan Sifat Teknis Tanah Gambut Banjarmasin dan Palangkaraya Serta Alternatif Cara Penanganannya untuk Konstruksi Jalan, *Dipublikasi sebagai hasil penelitian BBI dengan dana dari DIKTI Jakarta.*

Mochtar, NE. et al. (1998), Koefesien Tekanan Tanah ke Samping At Rest (Ko) Tanah Gambut Berserat serta Pengaruh Overconsolidation Ratio (OCR) Terhadap Harga Ko, *Jurnal Teknik Sipil, ITB, Vol. 5 N0. 4.*

Mochtar, NE. et al. (1999), Aplikasi Model Gibson & Lo untuk Tanah Gambut Berserat di Indonesia, *Jurnal Teknik Sipil, ITB, Vol. 6 N0. 1.*

Mochtar, NE., (2002), Tinjauan Teknis Tanah Gambut Dan Prospek Pengembangan Lahan Gambut Yang Berkelanjutan, *Pidato Pengukuhan Guru Besar ITS Surabaya.*

Mochtar, NE, Yulianto, FE., Satria, TR., (2014), Pengaruh Usia Stabilisasi pada Tanah Gambut Berserat yang Distabilisasi dengan Campuran CaCO_3 dan Pozolan, *Jurnal Teknik Sipil ITB (Civil Engineering Journal ITB), Vol. 21, No. 1, Hal 57-64.*

National Lime Association (NLA), *Lime-Treated Soil Construction Manual : Lime Stabilization & Lime Modification*, 2004. (<http://www.lime.org/Construct104.pdf>)

National Lime Association (NLA), *Mixture Design and Testing Procedures for Lime Stabilization Soil*, 2006. ([http://www.lime.org/soil.aggregates vol 1-4.pdf](http://www.lime.org/soil.aggregates%20vol%201-4.pdf)).

- Pasaribu, A.S. (1998), Konstruksi Jalan di Tanah Gambut, *Prosiding Seminar Nasional Gambut III. Pontianak, Kalimantan Barat*.
- Pradana, S., (2014), *Model Pertumbuhan kristal yang Dibentuk dari Gambut, Kapur, Fly Ash dan Air*, Thesis Jurusan Matematika, FMIPA-ITS, Surabaya.
- Pusat Litbang Prasarana Transportasi (2001), *Panduan Geoteknik 1*, WSP Internasional.
- Porbaha, A. (1998), *State of The Art Deep Mixing Technology: Basic Concepts*, Ground Improvement, 2 (2): 81-92.
- Potts, David M. and Zdravkovic (2001), *Finite Element Analysis in Geotechnical Engineering*, Thomas Telford Publishing, Thomas telford Ltd, 1 Heron Quay, London.
- Reitmeier, W. and Scheller, P. (2000), The CSV Soil Stabilization System - A New Method to Improve Soft Soils, *Proceedings of United Engineering Foundation Soft Ground Technology Conference, Noorwijkerhout, The Netherlands, May 18 - June 2, Coastal Caisson Brochure on CSV - Soil Stabilization System*.
- Redana, I.W. (2011), *Mekanika Tanah*, Udayana University Press. Denpasar, Bali.
- Said, J.M and Taib S. N. L., (2009), Peat Stabilization with Carbide Lime, *UNIMAS E-Journal of Civil Engineering, Vol. 1 : issue 1*.
- Sani (2011), Activated carbon Production From Peat Soil, *Jurnal Teknik Kimia 5, No. 2, April 2011*.
- Sabiham, S. (2010), Properties of Indonesian Peat in relation tio The Chemistry of Carbon emission, *Proc. Of Int. Workshop on evaluation and Sustainable Management of Soil Carbon Sequestration in Asian Cpuntries, Bogor, Indoesia, September*.
- Souliman, M. I. and Zapata, C. (2011), International Case Studies of Peat Stabilization by Deep Mixing Method, *Jordan Journal of Civil Engineering, Volume 5, No. 3, 2011*.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-3437-1994, *Tata Cara Pembuatan Stabilisasi Tanah Dengan Kapur Untuk Jalan*, Balitbang Departemen Pekerjaan Umum R.I.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-4147-1996, *Spesifikasi Kapur Untuk Stabilisasi Tanah*, Balitbang Departemen Pekerjaan Umum R.I.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-6886-2002, *Perencanaan Stabilisasi dengan Kapur dan Prosedur Pengujiannya*, Balitbang Departemen Pekerjaan Umum R.I.
- Terzaghi, K. (1925), *Principles of Soil Mechanics*. Engr. News Record, Vol. 95, pp. 832-836.

- Terashi, M. (1997), Theme Lecture: Deep Mixing Method-Brief State of The Art, *Proc. 14th ICSME, Hamburg*, 4. 2475-2478.
- Triwulan, Marwan (1997), *Laporan Penelitian Reaktifitas Fly Ash serta Pengaruhnya pada Perekatan Beton*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Toyukara, Ken et all (1982), *Crystallization*, Volume I & II , JACE Design Manual Series, Tokyo.
- Toyukara, Ken et all (1981), *Crystallization* in 'Encyclopedia of Chemical Processing and Design, editor : Mc. Ketta & Cunningham, Marcel Dekker Inc. New York.
- Utomo, Budi dan Timotius Gunawan (2008), *Study Penggunaan Campuran Fly Ash Dan Tanah Lempung Sebagai Material Utama Pada Embankment*, Tugas Akhir Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- Van De Meene (1984), Geological Aspects of Peat Formation in The Indonesian-Malyasin Lowlands, *Bulletin Geological Research and Development Centre*, 9, 20-31.
- Vauntrain (1976) in Fuschman, C H (1986), Peat and Water: Aspects of Water Retention and Dewatering in Peat, *Elsevier Applied Science Publisher, New york*.
- Von Post, L. (1992), Sveriges Geologiska Undersoknings Torvinventering Och Nagre av Dess Hittills Vunna Resultat, *Sv. Mosskulturfor. Tidskr. 1:1-27*.
- Wibowo, Ari (2009), Role of Peatland in Global Climate Change, *Jurnal Tekno Hutan Tanaman, Vol. 2 No.1 hal 19-28, 2009*.
- Whitemore (1984a), dalam *Panduan Geoteknik 1, Pusat Litbang Prasarana Transportasi (2001)*, Departemen Perkerjaan Umum, R.I, Jakarta.
- Wong, L. S., Hashim, R. Ali, F. (2013), Improved Strength and Reduced Permeability of Stabilized Peat: Focus on Application of Kaolin as a Pozzolan Additive, *Journal of Construction and Building Materials (Elsevier)* 40 783–792.
- Wetlands International – Indonesia Programme (2004), *Peta sebaran Lahan Gambut, Luas dan Kandungan Karbon Di Kalimantan*, Edisi Pertama ISBN 979-95899-9-1, Bogor.
- Yang, S. D., Yagihashi, J. N. and Yoshizawa, S. S. (1998), Dry Jet Mixing for Stabilization of Very Soft Soils and Organic Soils, *Geotechnical Special Publication No. 81: 96-110*.
- Yulianto, F.E. and Mochtar, N.E. (2010), Mixing of Rice Husk Ash (RHA) and Lime For Peat Stabilization, *Proceedings of the First Makassar International Conference on Civil Engineering (MICCE2010), March 9-10, 2010*.

- Yulianto, F.E. and Mochtar, N.E. (2012), Behavior of Fibrous Peat Soil Stabilized with Rice Husk Ash (RHA) and Lime, *Proceedings of 8th International Symposium on Lowland Technology September 11-13, 2012*, Bali, Indonesia.
- Yulianto, F.E., Harwadi., Kusuma W.M., (2014), The Effect of Water Content Reduction to Fibrous Peat Absorbent Capacity and Its Behaviour, *Proceedings of 9th International Symposium on Lowland Technology September 29-October 1, 2014*, Saga, Japan.

BIOGRAFI PENULIS



Faisal Estu Yulianto adalah putra pertama dari Bapak Moh. Tajjib dan Ibu Siti Aisyah yang lahir di Pamekasan, 18 Juli 1977. Pendidikan Dasar (SD & SMP) dan pendidikan menengah (SMA) diselesaikan di Kab. Sumenep periode Tahun 1983-1995. Jenjang sarjana (S-1) dilaluinya di Kota Malang pada STT Cakrawala (STTM) dan lulus pada tahun 2001. Jenjang Magister dan Doktoral ditempuh di Intitut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya pada tahun 2008-2010 dan 2011-2016. Bidang keahlian untuk program Magister dan Doktoral adalah Geotknik khususnya Tanah organik. Pegalaman kerja dimulai pada 2001 sebagai pelaksana & pengawas lapangan pada proyek proyek daerah di Kabupaten Pamekasan. Tahun 2004 bergabung dengan Fakultas Teknik Universitas Madura (UNIRA) sebagai dpk Kopertis wilayah VII Jawa Timur sampai dengan sekarang. Selain sebagai staff pengajar pada Fakultas Teknik UNIRA penulis juga bekerja sebagai konsultan *free lance* pada beberapa bangunan sipil di Jawa Timur, Jawa Tengah maupun propinsi Lainnya..